

Miika Rantanen

KAMPUSRAKENNUSTEN ÄLYRATKAISUT

Rakennetun ympäristön tiedekunta
Diplomityö
Joulukuu 2019

TIIVISTELMÄ

Miika Rantanen: Kampusrakennusten älyratkaisut
Diplomityö
Tampereen yliopisto
Rakennustekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma
Joulukuu 2019

Yhteiskunnassa käytetystä energiasta suuri osa kuluu rakentamiseen ja rakennusten käyttöön sekä ylläpitoon. Euroopan Unionin alueella rakennusten energiankulutusta on jo pitkään pyritty vähentämään erilaisilla energiatehokkuusvaatimuksilla. Yhtenä keinona energiatehokkuuden parantamiseen on rakennuksiin alettu asentaa erilaisia älykkäitä järjestelmiä, kuten päivänvalon mukaan säätyviä valaisimia. Rakennuksien älykkyydellä pyritään energiatehokkuuden lisäksi parantamaan käyttäjien viihtyisyyttä sekä mahdollistamaan erilaisten uusien digitaalisten palveluiden käyttöönotto.

Älykkäät rakennukset ovat viime vuosina kehittyneet vauhdilla uusien teknologioiden, kuten esineiden internetin ja koneoppimissovellusten yleistymisen myötä. Haasteena nykyisin onkin, miten olemassa oleva rakennuskanta saataisiin tehokkaasti uudistettua, jotta rakennuksista saataisiin taloudellisia, ekologisia ja käyttäjille viihtyisiä älykkäitä rakennuksia. Euroopan Unioni on tämän haasteen ratkaisemiseksi kehittämässä indikaattoria rakennuksen älykkyyden mittaamiseen. Indikaattori on nimeltään Smart Readiness Indicator (SRI). Indikaattorin tavoitteina on helpottaa rakennusten älykkäiden ratkaisujen yleistymistä ja näin kehittää EU:n rakennuskantaa.

Tässä diplomityössä tutkittiin kampusrakennusten uudistamista älykkääksi. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, mitä kampuskiinteistön korjaushankkeessa tulisi ottaa huomioon, kun kiinteistön älykkyyttä halutaan samalla parantaa. Tutkimusmenetelminä käytettiin kirjallisuusanalyysia, työpajatyöskentelyä sekä tutkimushaastatteluita. Lisäksi yhdelle kampusrakennukselle tehtiin SRI-mittaus indikaattorin hyödyllisyyden arvioimiseksi. Kirjallisuusanalyysin avulla tutkimuksessa selvitettiin älykkään rakennuksen ominaisuuksia ja rakennuksen älykkyyden mittausta. Tutkimuksessa järjestettiin kampuskiinteistöjä omistavan yrityksen kanssa työpaja, jossa selvitettiin älykkäiden järjestelmien haasteita korjaushankkeen aikana. Lopuksi tutkimuksen tuloksia täydennettiin ja validoitiin kahdella tutkimushaastattelulla.

Tutkimuksessa tunnistettiin useita haasteita älykkäiden järjestelmien toteutuksessa korjaushankkeen eri vaiheissa. Haasteet jaoteltiin tutkimuksessa projektin vaiheen sekä osapuolen mukaisesti ja SRI-mittarin soveltuvuutta apuvälineeksi arvioitiin kyseisten haasteiden ratkaisemisessa. Tulosten perusteella SRI-mittarin arvioitiin soveltuvan erityisesti korjaushankkeen suunnittelun apuvälineeksi hankkeen suunnittelijoiden ja projektipäällikön työkaluksi. Mittarin heikkouksien vuoksi rakennuksen älykkyyden varmistamiseksi tarvitaan kuitenkin myös muita suunnittelutyökaluja. SRI-mittarin sisältö koettiin riittämättömäksi erityisesti älykkäiden käyttäjäpalveluiden mahdollistamiseen osalta. Älykkäiden käyttäjäpalveluiden mahdollistamiseksi kiinteistön omistajan tulisi laatia datastrategia, jossa määritellään vaatimukset kiinteistöstä kerättävälle datalle. Datastrategiaa voidaan silloin hyödyntää älykkäiden järjestelmien valinnassa. Älykkäiden järjestelmien yhteensopivuuden sekä omistajan datastrategian vaatimusten toteutumisen varmistamiseksi rakennushankkeeseen arvioitiin tarpeelliseksi luoda uusi älykoordinaattorin rooli. Älykoordinaattorin roolin arvoitiin parantavan kiinteistöjen älykkäiden järjestelmien toteutusten laatua ja vauhdittavan digitaalisten palveluiden tuloa kiinteistöihin.

Avainsanat: älykäs kampus, esineiden internet, SRI, korjaushanke

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

ABSTRACT

Miika Rantanen: Smart Campus Solutions
Master of Science Thesis
Tampere University
Master's Degree Program in Civil Engineering
December 2019

The building and construction sector are responsible for a big part of global energy usage. European Union has been working towards improving the efficiency of the building stock with several directives for several years. One way to improve the energy efficiency of buildings is to install smart systems like daylight-controlled lightning to the building. The smartness of a building also contributes to user comfort and enables the implementation of new digital services.

In the past few years smart buildings have developed rapidly due to widespread of new technologies such as internet of things and machine learning applications. The current challenge is how can we efficiently renovate the existing building stock so that buildings would be economical, ecological and comfortable to the users. European Union is developing an indicator for assessing the smartness of buildings to solve that challenge. The indicator is called Smart Readiness Indicator (SRI). The objective of the indicator is to ease the widespread of smart ready technologies and improve the building stock that way.

The aim of this master's thesis was to study the process of smart campus renovation. The study consists of literature review, workshop and research interviews. In addition, SRI assessment was done to one existing campus building to evaluate the usefulness of the indicator. In the literature review features of a smart building and current smart building assessment methodologies were studied. Also, a workshop was organized with a building property owner company. The results of the thesis were completed and validated with two research interviews.

Several challenges of smart campus renovation were recognized in the study. The challenges were divided in groups by project phase and project participant. Smart Readiness Indicator was evaluated as a tool in solving these challenges. Based on the results, SRI was found to be particularly useful as a tool in the design phase for designers and project managers. However, because of the weaknesses of SRI other design tools are also needed. The lack of focus in end user services in the SRI demands additional framework to be considered. To ease the development of end user services in smart campus, property owner should implement a data strategy where the requirements for the collected data would be described. The data strategy could then be used to choose the right smart technologies. Also, the role of a smart coordinator was suggested to be introduced for the renovation project. The task for the smart coordinator would be to ensure the compatibility of different smart systems and the requirements of the building owner according to the data strategy. The role of the smart coordinator was assessed to improve quality of the smart solution implementations and to speed up the arrival of digital services in the buildings.

Keywords: Smart Campus, Internet of Things, Smart Readiness Indicator, SRI, Renovation

The originality of this thesis has been checked using the Turnitin OriginalityCheck service.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty osana Virtuaalinen palveluympäristö-D -projektia, jossa tavoitteena on kehittää kiinteistö- ja toimitilasektorin käyttäjäkokemusta uusien digitaalisten palveluiden avulla. Kiitos työni ohjaajille professori Kalle Kähköselle ja dosentti Suvi Nenoselle erittäin mielenkiintoisen tutkimusaiheen tarjoamisesta sekä tuesta ja ohjauksesta diplomityön aikana. Kiitos myös tutkimuksen työpajaan, SRI-mittaukseen ja haastatteluihin osallistuneille. Teidän antamanne kommentit ja apu olivat korvaamattomia tutkimuksen edetessä.

Tampereella, 18.12.2019

Miika Rantanen

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
1.1 Tavoitteet ja rajaukset	2
1.2 Tutkimusmenetelmät ja tutkimuksen suoritus	3
1.3 Tutkimusraportin rakenne	3
2. ÄLYKÄS KAMPUS	4
2.1 Älykkään rakennuksen erityispiirteet	5
2.2 Älykkyyden tason mittaaminen ja vertailu	7
2.2.1 Älyratkaisuvalmiusindikaattori (SRI)	7
2.2.2 BREEAM-ympäristöluokitusjärjestelmä	10
2.2.3 LEED-ympäristöluokitusjärjestelmä	12
2.3 Digitaaliset kiinteistö- ja käyttäjäpalvelut	13
2.4 Kampusen käyttäjäkokemus	17
3. RAKENNUKSEN ÄLYKKYYDEN PARANTAMINEN KORJAUSHANKKEESSA ..	18
3.1 Kiinteistön tekninen elinkaari	18
3.2 Korjaushankkeen vaiheet	19
3.3 Älykkäät järjestelmät korjaushankkeessa	21
3.3.1 Älykkäiden järjestelmien arkkitehtuuri	21
3.3.2 Järjestelmien toteutuksen haasteet ja rajoitukset	22
4. TUTKIMUSMENETELMÄT JA TUTKIMUKSEN SUORITUS	25
4.1 SRI korjaushankkeen työkaluna -työpaja	25
4.2 SRI-mittari kampusrakennuksen älykkyyden mittauksessa	27
4.3 Validoivat haastattelut	29
5. TUTKIMUKSEN TULOKSET	31
5.1 SRI-kysely	31
5.2 Älykkäät järjestelmät korjaushankkeessa	32
5.3 SRI-mittaus	33
5.4 SRI-mittauksen tulokset	39
6. TUTKIMUSTULOSTEN ANALYSOINTI	41
6.1 SRI-mittari kampusrakennuksen älykkyyden mittauksessa	41
6.2 Käyttäjäpalveluiden mahdollistaminen	42
6.3 Älykkäiden järjestelmien toteuttamisen haasteet kampuskiinteistön korjaushankkeessa eri toimijoiden näkökulmasta	43
7. JOHTOPÄÄTÖKSET	50
7.1 Kampuskiinteistön uudistaminen älykkääksi	50
7.2 Tutkimuksen onnistumisen arviointi	51
7.3 Tutkimuksen rajoitukset	52

7.4	Jatkotutkimuksien tarpeet.....	52
LÄHTEET	54

KESKEISET MÄÄRITELMÄT

BREEAM	Building Research Establishment Environmental Assessment method, ympäristösertifiointijärjestelmä
Data-alusta	Järjestelmä, johon kerätään tietoa eri lähteistä ja tarjotaan sitä helposti käytettävässä muodossa eteenpäin
Digitalisaatio	Toimintatapojen ja prosessien uudistamista tietotekniikan avulla
IoT	Internet of Things, esineiden internet
Koneoppiminen	Tekoälyn osa-alue, jossa kone opettelee sille annetun datan perusteella säännönmukaisuuksia
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design, ympäristösertifiointijärjestelmä
Metatieto	Aineiston sisältöä tai rakennetta kuvaileva tieto
PoE	Power over Ethernet. Verkkotekniikka, jossa data ja käyttöjännite siirretään samalla verkkokaapelilla
SRI	Smart Readiness Indicator, älyratkaisuvalmiusindikaattori
Älykäs rakennus	Rakennus, jossa käyttäjille luodaan mahdollisimman viihtyisät, taloudelliset, tehokkaat ja ympäristöystävälliset tilat rakennuksen järjestelmiä, rakenteita ja palveluita optimoimalla sekä integroimalla

1. JOHDANTO

Digitalisaation myötä myös rakennus- ja kiinteistöalalle on kehitetty monenlaisia uusia digitaalisia ratkaisuja. Digitaalisilla ratkaisuilla, kuten esimerkiksi etäluettavalla sähkömittarilla, voidaan teknologian avulla ratkaista perinteisiä ongelmia tai luoda kokonaan uusia toiminnallisuuksia tai palveluita. Niillä voidaan myös usein parantaa rakennuksen energiatehokkuutta tai lisätä viihtyvyyttä. Hyödyntämällä rakennuksessa laaja-alaisesti erilaisia digitaalisia ratkaisuja, voidaan rakennukselle saada ihmismäisiä ominaisuuksia. Erilaisilla sensoreilla rakennus voi havainnoida ja mitata esimerkiksi tilojen käyttöä tai sisäilman ominaisuuksia. Havaintojen perusteella rakennus voi reagoida ja säätää taloteknisiä järjestelmiä vastaamaan muuttuneita olosuhteita. Rakennus voi myös kuunnella käyttäjän mielipiteitä ja sen perusteella oppia vastaamaan käyttäjien tarpeita ja odotuksia. Rakennuksen kykyä havainnoida, reagoida, oppia ja olla käyttäjään vuorovaikutuksessa voidaan kuvata sen älykkyytenä (Batov 2015).

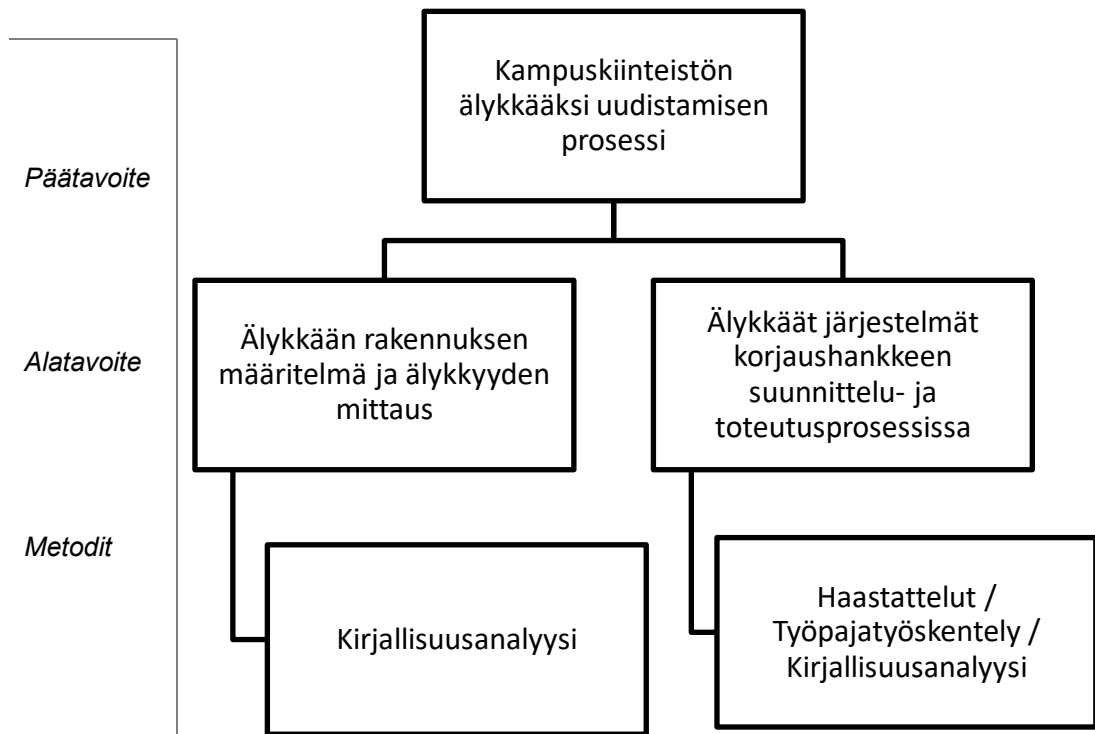
Rakennukset kuluttavat merkittävän osan yhteiskunnan tarvitsemasta energiasta. Esimerkiksi Euroopan unionissa rakennukset kuluttavat vuosittain noin 40 prosenttia kaikesta energiasta (Euroopan komissio 2018). Rakennuksien pitkän käyttöiän takia vain pieni osa rakennuskannasta on tehty viimeisimpien energiatehokkuusvaatimuksien mukaisesti. Rakennuksen elinkaaren aikana tehtävien korjaushankkeiden yhteydessä voidaan olla järkevää pohtia myös uusien digitaalisten ratkaisuiden käyttöönottoa energiatehokkuuden lisäämiseksi. Uudistamalla vanhaa rakennuskantaa energiatehokkaammaksi voitaisiin Euroopan unionin alueella säästää vuosittaisesta energiankulutuksesta jopa 5 % (Euroopan komissio 2018). Euroopan unioni on jo vuosia pyrkinyt parantamaan jäsenmaidensa energiatehokkuutta etenkin rakennetun ympäristön osalta (Euroopan parlamentti 2018). Yksi keskeisimmistä ohjausmenetelmistä on ollut rakennusten energiatehokkuudesta annettu direktiivi 2010/31/EU, jonka myöhemmissä päivityksissä on rakennusten älykkyys nostettu esille energiansäästön mahdollistajana (Euroopan komissio 2018).

Yliopistojen toimintaympäristö elää jatkuvassa muutoksessa. Ilmaiset ja kaikille avoimet verkkokurssit haastavat perinteistä opetusta ja samalla korkeakoulujen rahoitusmalleja uudistetaan (Opetus- ja kulttuuriministeriö 2019). Fyysiset tilat ovat yliopistoille iso kulu ja tilojen käyttöaste on usein matalaa. Samalla laadukkaat tilat nähdään kuitenkin

vetovoimatekijänä kampuksen houkuttelevuudessa. Kampuksien tilojen tehokkuuden parantamiselle onkin selkeä tarve (Eriksson et al. 2014).

1.1 Tavoitteet ja rajaukset

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää, millainen prosessi on kampuskiinteistön uudistaminen älykkääksi. Alatavoitteina ovat älykkään rakennuksen määrittely ja älykkyyden mittaaminen sekä älykkäiden järjestelmien vaikutukset korjaushankkeen suunnittelu- ja toteutusprosessiin. Sopivan älykkyyden tason määrittelyssä otetaan huomioon erityisesti käyttäjäkokemusta parantavat muutokset ja palvelut. Tavoitteet ovat esitetty hierarkiamuodossa kuvassa 1.



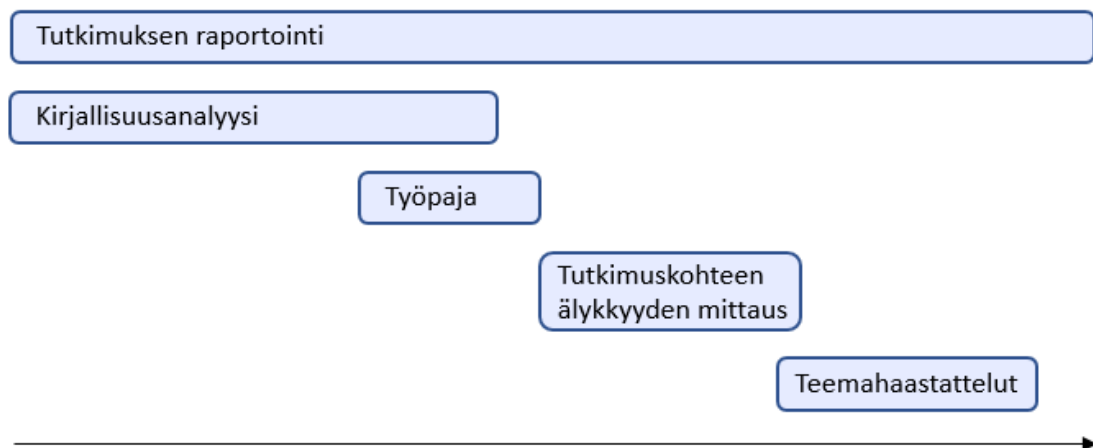
Kuva 1. Tutkimuksen tavoitteet hierarkiamuodossa

Tutkimuksessa tarkastellaan kampuskiinteistöjen uudistamista älykkääksi korjaushankkeen eri vaiheissa. Asuinrakennukset ja muut toimitilarakennukset sekä uudisrakentaminen jää työn ulkopuolelle.

1.2 Tutkimusmenetelmät ja tutkimuksen suoritus

Tutkimus koostuu kirjallisuusanalyysistä, työpajatyöskentelystä sekä teemahaastatteluilusta. Kirjallisuusanalyysiä käyttäen muodostetaan tutkimuksen teoreettinen viitekehys. Tutkimusaineisto saadaan työpajatyöskentelyn sekä teemahaastatteluiden tuloksena. Lisäksi rakennuksen älykkyyden mittausta kokeillaan olemassa olevalle kampusrakennukselle. Näihin liittyviä yksityiskohtia käsitellään erikseen luvussa neljä.

Kevään 2019 aikana kerätään tausta-aineistoa kirjallisuudesta, artikkeleista ja standardeista. Tausta-aineiston avulla selvitetään kiinteistöjen älykkyyden ominaisuuksia ja ta-soja ja niiden vaikutuksia käyttäjäkokemukseen. Vuoden 2019 touko-kesäkuussa järjestetään työpaja, jossa yhteistyössä etsitään ja tunnistetaan älykkäiden uudistusten haasteita ja mahdollisuuksia korjaushankkeen sekä kiinteistön käytön ja ylläpidon aikana. Lisäksi kesällä 2019 mitataan olemassa olevan kampusrakennuksen älykkyyden tasoa. Lopuksi työpajan tuloksia täydennetään ja vahvistetaan haastatteluilla. Tutkimuksen ajallista vaiheistusta on esitelty alla olevassa kuvassa 2.



Kuva 2. Tutkimuksen ajallinen vaiheistus

1.3 Tutkimusraportin rakenne

Tutkimuksen teoriaosuus on esitetty tutkimusraportin luvuissa kaksi ja kolme. Luvussa kaksi käsitellään älykkään kampuksen erityispiirteitä ja rakennuksien älykkyyden tason mittaamista sekä vertailua. Luvussa kolme käsitellään rakennuksen älykkyyden parantamista korjaushankkeen eri vaiheissa.

Luvussa neljä esitetään tutkimuksessa käytettävät tutkimusmenetelmät ja luvuissa viisi ja kuusi esitetään tutkimuksen tulokset sekä niiden analysointi. Viimeisessä luvussa esitetään tutkimuksen johtopäätökset.

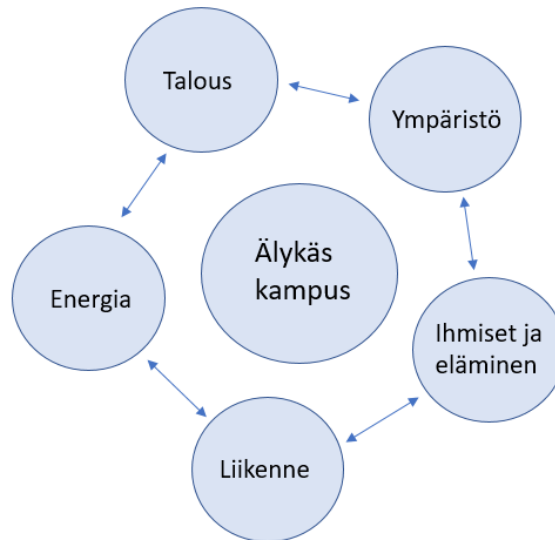
2. ÄLYKÄS KAMPUS

Älykästä kampusta on kirjallisuudessa tyypillisesti lähdetty määrittelemään kolmesta eri lähtökohdasta: älykkään teknologian käyttöönotosta, älykkään kaupungin konseptin adoptoinnista sekä organisaation ja liiketoiminnan tarpeiden kehittymisestä. Teknologisesta näkökulmasta kampukselta saadaan älykäs ottamalla käyttöön erilaisia älykkäitä järjestelmiä ja niiden avulla luotuja palveluita. (Muhamad et al. 2017).

Älykkään kaupungin konseptia soveltaen voidaan yliopistokampusten ajatella olevan pieniä kaupunkeja kaupungin sisällä. Kampusalueilta löytyy työpaikkoja, palveluita ja jopa asuntoja. Älykkään kaupungin määritelmässä informaatioteknologia nähdään usein välineenä asukkaiden elinympäristön parantamiseksi (Gil-Garcia et al. 2015). Vastavasti älykkäillä kampuksilla halutaan parantaa kampuksen käyttäjäkokemusta. Älykkään kampuksen ja älykkään kaupungin välillä voidaankin löytää yhtäläisyyksiä (Vasileva et al. 2018).

Organisaation kehittymisen näkökulmasta älykäs kampus syntyy, kun kampukselta lähdetään kehittämään parempaa paikkaa oppia ja työskennellä erilaisten älykkäiden palveluiden avulla. Kampuksen toimintaa lähdetään usein tehostamaan ja säästyneillä resursseilla keskitytään laadun parantamiseen. (Muhamad et al. 2017).

Älykkään kampuksen toimintaympäristö voidaan jakaa viiteen osa-alueeseen, jotka ovat talous, ympäristö, energia, liikenne sekä ihmiset ja eläminen. Älykkäällä kampuksella pyritään siis parantamaan toimintaa näillä jokaisella osa-alueella. Osa-alueet ovat havainnollistettuna kuvassa 3. (Pagliaro et al. 2016).

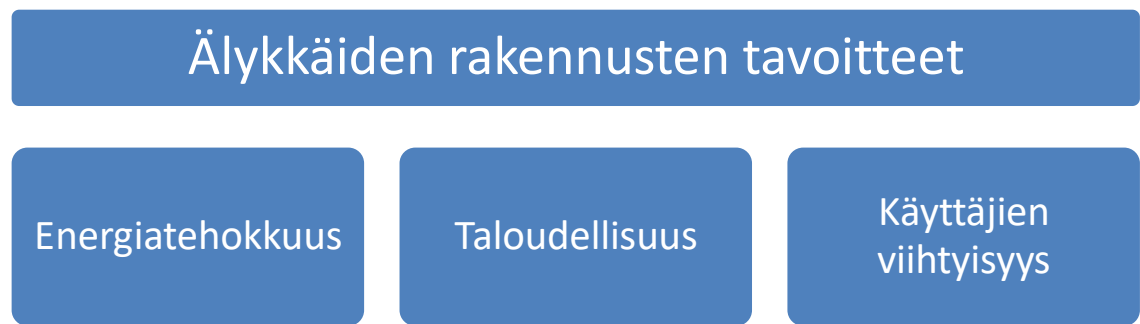


Kuva 3. Älykkään kampuksen toimintaympäristön osa-alueet (Pagliaro et al. 2016)

Yksittäinen älykäs rakennus kampuksella tai älykäs palvelu kampuksen käyttäjille ei vielä tee kampuksesta älykästä. Älykäs kampus on kokonaisuus, jossa älykkäät teknologiat ja toimintatavat valjastetaan kampuksen toiminnan parantamiseen kokonaisuudessaan (Muhamad et al. 2017). Älykkään kampuksen talous tulisi esimerkiksi olla läpinäkyvää ja hyvin hallinnoitua. Lisäksi ympäristövaikutuksiin pitäisi kiinnittää laajasti huomiota ja kampusrakennuksien energiankulutusten vähentämisen lisäksi kannustaa kampuksella kierrätykseen ja esimerkiksi ekologiisiin ruokavaihtoehtoihin. Älykkäällä kampuksella ihmiset ovat keskiössä ja kampuksen käyttäjien elämää kampuksella pyritään helpottamaan ja parantamaan oppimis- ja työskentelymahdollisuuksia. Älykkäälle kampukselle on järjestetty hyvät julkiset liikenneyhteydet ja kävely- sekä pyörätiet. Kampuksella voidaan myös tarjota uusia liikkumisen palveluita, kuten yhteiskäyttöisiä autoja tai polkupyöriä. (Pagliaro et al. 2016).

2.1 Älykkään rakennuksen erityispiirteet

Älykkäälle rakennukselle löytyy kirjallisuudesta useita eri määritelmiä. Ensimmäisissä määritelmässä keskityttiin pääasiassa kuvaamaan älykästä rakennusta teknisestä näkökulmasta, mutta myöhemmin määritelmiin on alettu sisällyttää mukaan myös rakennusten käyttäjien huomioimista (Wong et al. 2005). Yhteistä monille määritelmistä on, että rakennuksen älykkyydellä on tavoitteena parantaa rakennuksen taloudellisuutta ja energiatehokkuutta sekä käyttäjien viihtyisyyttä (Arditi et al. 2015). Tavoitteet ovat esitetty kuvassa 4. Älykkäässä rakennuksessa siis optimoidaan ja integroidaan rakennuksen järjestelmiä, rakenteita ja palveluita, jotta rakennuksen käyttäjille saadaan mahdollisimman viihtyisät, taloudelliset, tehokkaat ja ympäristöystävälliset tilat (Wong et al. 2005).



Kuva 4. Älykkäiden rakennusten tavoiteluokat (Arditi et al. 2015)

Suurin osa rakennusten energiantarpeesta kuluu lämmitykseen, valaistukseen ja jäähdytykseen. Rakennusten energiatehokkuutta voidaan parantaa näiden toimintojen osalta tilojen todelliseen käyttöön ja ympäristöön perustuvilla älykkäillä säätöjärjestelmillä. Älykkäiden järjestelmien avulla energiankulutusta voidaan saada vähennettyä jopa 40 prosenttia. Älykkäitä säätöjärjestelmiä ovat esimerkiksi valaistuksen säätö päivänvalon mukaan tai ilmanvaihdon säätö tilan käyttäjämäärän mukaisesti. (Nguyen & Aiello 2013).

Älykkäiden teknisten järjestelmien lisäksi rakennuksella voi olla myös passiivista älykkyyttä. Tällä tarkoitetaan sitä, että rakennus on kokonaisuudessaan suunniteltu tehokkaaksi (Arditi et al. 2015). Lämmitys- tai jäähdytysjärjestelmien optimoinnin lisäksi täytyisi siis esimerkiksi rakennuksen vaippa suunnitella niin, että lämmitystä tai jäähdytystä tarvittaisiin mahdollisimman vähän. Tämä voi tarkoittaa esimerkiksi ikkunoiden koon optimointia ilmansuuntien mukaan. Onnistunut älykäs rakennus syntyy silloin, kun rakennushankkeen jokaisessa vaiheessa tehdään älykkäitä ratkaisuja niin passiivisten valintojen kuin teknologian hyödyntämisenkin osalta (Ochoa & Capeluto 2008).

Alhaisempien ympäristövaikutusten lisäksi rakennuksen älykkyydestä voi hyötyä myös taloudellisesti. Wagner et al. mukaan laadukkaat energiansäästöjärjestelmät nostavat rakennuksen investointikustannuksia alle viisi prosenttia ja niiden avulla rakennuksen ylläpitokustannuksissa voidaan saada aikaan merkittäviä säästöjä (Wagner et al. 2014). Kasvaneet vaatimukset uusille rakennuksille ovat myös nostaneet rakentamiskustannuksia, joita osaltaan pyritään vähentämään rakentamalla tehokkaampia tilaratkaisuja (Valks et al. 2018).

Älykkäiden rakennuksien yksi keskeisimmistä ominaisuuksista on aktiivinen vuorovaikutus sen käyttäjien kanssa (Buckman et al. 2014). Ideana on, että rakennus sopeutuisi käyttäjien tarpeisiin ja käyttäjät sopeutuisivat rakennuksen ominaisuuksiin. Antamalla

käyttäjille mahdollisuus vaikuttaa tilan olosuhteisiin saadaan käyttäjätyytyväisyyttä parannettua (Wagner et al. 2014). Kun käyttäjien antamat palautteet yhdistetään oppiviin automaatiojärjestelmiin, voidaan mahdolliset epämieluisat olosuhteet tunnistaa etukäteen. Rakennuksen käyttäjätyytyväisyyteen kannattaa kiinnittää huomiota, sillä käyttäjätyytyväisyydellä on havaittu olevan myös positiivinen korrelaatio käyttäjien tuottavuuteen (Nguyen & Aiello 2013).

2.2 Älykkyyden tason mittaaminen ja vertailu

Rakennusten älykkyyden mittaamista on tutkittu jo 1980-luvulta lähtien ja useita arviointijärjestelmiä on esitetty käytettäväksi rakennusten älykkyyden vertailuun. Arviointijärjestelmiä ovat kehittäneet muun muassa erilaiset yhdistykset ja tutkimusorganisaatiot, kuten Asian Institute of Intelligent Buildings (AIIB) ja European Intelligent Buildings Group (EIBG). Tasapuolisen kansainvälisen arviointijärjestelmän kehittäminen on kuitenkin haasteellista ja kehitetyissä arviointijärjestelmissä onkin havaittu useita puutteita (Arditi et al. 2015). Älykkäiden rakennuksien arviointijärjestelmää tarvitaan, jotta sopivan älykkyyden tason valinta olisi helpompaa hankkeen suunnitteluvaiheessa. Arviointijärjestelmää voidaan käyttää myös investointipäätöksen tukena. Rakennuksen älykkyyden voidaan ajatella olevan osa ekologista rakentamista, jolloin laajemmin käytössä olevat rakennusten ympäristöluokitusjärjestelmät saattavat myös sisältää rakennuksen älykkyyttä mittaavia osa-alueita (Arditi et al. 2015). (Wong et al. 2005).

Tässä luvussa käsitellään tarkemmin läpi kolmea eri rakennuksen luokitusjärjestelmää. Alaluvussa 2.2.1 esitellään Euroopan Unionin kehitteillä olevaa indikaattoria rakennusten älykkyyden mittaukseen. Lisäksi alaluvuissa 2.2.2 ja 2.2.3 esitellään kansainväliset BREEAM ja LEED -ympäristöluokitusjärjestelmät.

2.2.1 Älyratkaisuvalmiusindikaattori (SRI)

Euroopan unioni (EU) on kehittämässä indikaattoria, jolla rakennusten teknisten ratkaisuiden älykkyyttä voisi mitata ja vertailla. Indikaattori on nimeltään älyratkaisuvalmiusindikaattori, "Smart Readiness Indicator (SRI)". Kyseinen indikaattori on työn kirjoitushetkellä vielä kehitteillä, mutta siitä on tarkoitus tulla kaikille EU:n jäsenvaltioille yhdenmukainen ja vapaaehtoinen luokittelujärjestelmä. Indikaattorin tavoitteena on parantaa rakennusten energia- ja kokonaistehokkuutta sekä rakennusten kykyä mukautua käyttäjän tai sähköverkon tarpeiden mukaisesti. (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2018/844).

Älyratkaisuvalmiusindikaattorin on nimensä mukaisesti tavoitteena mitata rakennuksen valmiutta älykkääseen toimintaan. Valmiudella älykkyyteen tarkoitetaan sitä, että rakennuksen älykkyys voi olla rajoittunutta esimerkiksi älykkyyttä hyödyntävien palveluiden osalta. SRI-mittari ei sen vuoksi kykene mittaamaan kaikkia älykkään rakennuksen tuomia etuja. Indikaattorilla pyritään siis mittaamaan sitä, ovatko rakennuksen järjestelmät tarpeeksi älykkäitä, jotta älykkäitä palveluita voitaisiin niiden varaan rakentaa. (Verbeke et al. 2018).

SRI-mittarin tulos saadaan arvioimalla rakennuksen älykkäisiin järjestelmiin liittyviä palveluita indikaattorin palveluluettelon mukaisesti. Arvioinnissa yksittäisen palvelun toiminnallisuuden taso arvioidaan ja sen perusteella rakennus saa pisteitä eri vaikuttavuusluokkiin. SRI-mittarin vaikuttavuusluokat ovat: energiansäästö, joustavuus jakeluverkon kannalta, paikallinen energiantuotanto, viihtyisyys, käyttömukavuus, terveys ja hyvinvointi, huolto ja ylläpito sekä tietoa käyttäjille. Mitä korkeampi palvelun toiminnallinen taso on, sitä enemmän pisteitä voi saada. Alla olevassa taulukossa 1 on esitetty esimerkkinä palvelun "ilmanvaihdon säätö huonetasolla" mahdolliset toiminnallisuuden tasot.

Taulukko 1. SRI-mittarin esimerkkipalvelun "ilmanvaihdon säätö huonetasolla" toiminnalliset tasot

Luokka	Palvelu	Taso 0	Taso 1	Taso 2	Taso 3
Koneellinen ilmanvaihto	Ilmanvaihdon säätö huonetasolla	Ei ilmanvaihtoa tai automaattista säätöä	Ilmanvaihdon ajastus	Tilan käytön perusteella	Huoneilman laadun perusteella (CO ₂ , yms.)

Kun kaikki rakennuksen palvelut on arvioitu, lasketaan kunkin vaikuttavuusluokan pisteet yhteen ja jaetaan kyseisen luokan maksimipistemäärällä (Verbeke et al. 2018). Näin saadaan tulokseksi rakennuksen älyvalmiuden taso prosenttilukuna kyseisessä vaikuttavuusluokassa. Arvioitavat palvelut ovat jaettu luokkiin ja luokkien painotusta muuttamalla voidaan samalla palveluluettelolla julkaista erilaisia versioita indikaattorista. Esimerkki pisteiden painotuksista luokittain on kuvattu taulukossa 2.

Taulukko 2. Esimerkki SRI-pisteiden painotuksista luokittain toimistorakennuksessa (Verbeke et al. 2018)

Luokka	Energiansäästö	Joustavuus jakeluverkon kan- nalta	Paikallinen energiantuotanto	Viihtyisyys	Käyttömukavuus	Terveys ja hyvinvointi	Huolto ja ylläpito	Tietoa käyttäjille
Lämmitys	49%	2,5%	0%	40%	10%	10%	10%	7%
Käyttöveden lämmitys	10%	2,5%	0%	10%	10%	10%	10%	7%
Jäähdytys	6%	2,5%	0%	15%	10%	10%	10%	7%
Koneellinen ilmanvaihto	7%	2,5%	0%	10%	10%	10%	10%	7%
Valaistus	10%	2,5%	0%	10%	10%	10%	10%	7%
Rakennuksen vaippa	7%	0%	0%	5%	10%	10%	10%	7%
Energiantuotanto	0%	2,5%	80%	0%	10%	10%	10%	7%
Tehontarpeen säätö	0%	40%	10%	5%	10%	10%	10%	7%
Sähköajoneuvon lataus	0%	40%	10%	0%	10%	10%	10%	7%
Mittaukset ja säädöt	11%	5%	0%	5%	10%	10%	10%	40%
Yhteensä	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Ajatuksena luokkien painotuksissa on se, että palveluiden pisteet jaettaisiin mahdollisimman totuudenmukaisesti tavoiteluokille. Esimerkiksi energiansäästön osalta pisteet jaettaisiin rakennuksen energiankulutusprofiiliin mukaisesti. Toisaalta sähköajoneuvojen latauksesta ei jaettaisi pisteitä energiansäästöön. Vaikeammin arvioitavilla vaikuttavuusluokilla, kuten terveys ja hyvinvointi, on painotus ainakin toistaiseksi jaettu tasan luokkien kesken. Erilaisia painotuksia voidaan julkaista rakennuksen tyypin tai maantieteellisen sijainnin perusteella. (Verbeke et al. 2018).

SRI-mittarin laskennassa voidaan rakennukselle merkityksettömiä palveluita jättää pois arvioinnin piiristä, jotta eri maissa sijaitsevien rakennusten tuloksista saataisiin vertailukelpoisia (Verbeke et al. 2018). Esimerkiksi Pohjois-Euroopassa voitaisiin jäähdytysjärjestelmät jättää arvioinnin ulkopuolelle, jos rakennuksessa ei ole tarvetta jäähdytykselle. Mitattavien palveluiden karsiminen vähentää kyseisen luokan enimmäispistemäärää ja

vaikuttaa siten suuresti indikaattorin pisteytyksiin (Janhunen et al. 2019). Koska indikaattori on tämän työn kirjoitushetkellä vielä kehitteillä, voi sen laskentatapaan tulla vielä muutoksia ennen virallista julkaisua.

SRI-mittarin arvioinnin on ajateltu tapahtuvan ulkopuolisen tarkastajan toimesta nykyisten rakennuksien energiatodistusten tavoin. Tällä mahdollistetaan arviointien puolueettomuus. Tulevaisuudessa SRI pystyttäisiin kuitenkin mahdollisesti arvioimaan myös automaattisesti. Markoska et al. tekemän tutkimuksen mukaan SRI:n arviointi voitaisiin suorittaa lukemalla sopivilla kyselyillä taloteknisten järjestelmien metatietoja. Rakennuksen automaattinen arviointi vaatii kuitenkin rakennukselta tiettyjä älykkäitä ratkaisuja, jotta järjestelmien tietoja saadaan haettua. Arvion mukaan 23 prosentin tulos SRI-mittarissa riittäisi automaattiseen arviointiin. Automaattista arviointia on myös onnistuneesti kokeiltu rakennuksessa, jonka SRI-mittauksen tulos oli 39 prosenttia. (Markoska et al. 2019).

Rakennuksien SRI:n arviointi automaattisesti mahdollistaisi tiedon keräämisen laajamittaisesti rakennuksien ominaisuuksista. Mikäli tätä tietoa vielä vertailtaisiin rakennuksien toteutuneisiin energiankulutuksiin, voitaisiin helposti ja reaaliaikaisesti tunnistaa energia-
tehokkuudeltaan alisuorittavia rakennuksia sekä parantaa niiden toimintaa. SRI:n automaattista arviointia varten taloteknisiin järjestelmiin täytyisi kuitenkin tallentaa sopivia metatietoja standardoidusti kyselyjä varten. Tämä on mahdollista toteuttaa esimerkiksi viranomaisohjauksen avulla. (Markoska et al. 2019).

Indikaattori on keskeneräisyydestään huolimatta herättänyt jo jonkin verran huomiota EU:n alueella eri organisaatioissa. Esimerkiksi Aalto-yliopistossa tehdyssä tutkimuksessa arvioitiin SRI-mittarin soveltuvuutta Suomen olosuhteissa. Tutkimuksessa kuitenkin havaittiin, ettei indikaattori vielä täysin soveltunut pohjoisiin olosuhteisiin. Esimerkiksi kaukolämpöverkon hyödyntämistä ei huomioitu indikaattorin laskennassa vielä tarpeeksi, vaikka se on Suomessa merkittävin lämmöntuotannon muoto. Tämä vaikeuttaa mittaustulosten vertailua eri EU-maiden välillä. Lisäksi mittauksen alaisten palveluiden määrän valinnan arvioitiin jättävän liikaa valinnanvaraa arvioinnin suorittajalle, mikä heikentää myös tuloksien vertailukelpoisuutta. (Janhunen et al. 2019).

2.2.2 BREEAM-ympäristöluokitusjärjestelmä

Kansainväliset rakennusten ympäristöluokitusjärjestelmät, kuten BREEAM (Building Research Establishment's Environmental Assessment Method) ja LEED (Leadership in energy and Environmental Design), sisältävät osittain samoja tavoitteita ja osa-alueita

kuin kehitteillä oleva SRI-mittari. Ne mittaavat kuitenkin huomattavasti laajemmin rakennuksen ympäristövaikutuksia eivätkä keskity pelkästään rakennuksen älykkyyden mittaukseseen (Arditi et al. 2015). Hyvä tulos ympäristöluokitusjärjestelmissä kuitenkin usein edellyttää myös älykkäiden ratkaisujen käyttöä, jotta rakennuksista saadaan mahdollisimman energiatehokkaita. Esimerkiksi vuonna 2015 valmistunut The Edge -rakennus Amsterdamissa sai valmistuessaan historian korkeimmat BREEAM-pisteet ja sitä on toisaalta pidetty myös valmistuessaan maailman älykkäimpänä rakennuksena (Bloomberg 2015).

BREEAM-ympäristöluokitusjärjestelmä on Iso-Britanniasta lähtöisin oleva tällä hetkellä laajimmin käytössä oleva ympäristösertifiointijärjestelmä. BREEAM-järjestelmän tavoitteena on vähentää rakennuksen elinkaaren aikaisia ympäristövaikutuksia ja mahdollistaa tunnustuksen saamisen rakennuksille, joiden ympäristövaikutukset ovat vähäiset. BREEAM-ympäristöluokitus arvostellaan kuusiportaisella asteikolla, jossa ”unclassified” tarkoittaa hylättyä arvosanaa ja hyväksytyt arvosanat heikoimmasta parhaimpaan ovat: ”pass”, ”good”, ”very good”, ”excellent” ja ”outstanding”. Arvosanan saamiseksi rakennuksen täytyy saada riittävä määrä pisteitä sekä täyttää kyseisen arvosanan minimivaatimukset. Esimerkiksi hyväksytyt arvosanan saamiseksi yhtenä minimivaatimuksena on se, että rakennusprojektissa noudatetaan kansallisia terveys- ja turvallisuusmääräyksiä jo työmaavaiheessa. (BRE Global 2017).

BREEAM-järjestelmässä tavoitellaan pisteitä yhteensä kymmeneen eri kategoriaan. Kategoriat ovat:

- Projektinjohto
- Terveys ja hyvinvointi
- Energia
- Liikenne- ja kulkuyhteydet
- Vesi
- Jätehuolto
- Saasteet
- Maankäyttö ja ekologisuus
- Materiaalit
- Innovaatiot (BRE Global 2017).

Kategorioista energia, vesi sekä terveys ja hyvinvointi sisältävät samoja tavoitteita ja osittain samoja sisältöjä kuin SRI-mittariin, mutta muut kategoriat jäävät SRI-mittauksessa huomioimatta. BREEAM-järjestelmän arviointitapa on myös hyvin samantyylinen

SRI-mittauksen kanssa ja järjestelmien sisällöt olisi mahdollista sovittaa yhteiseen arviointiprosessiin, jolloin samalla arviointikäynnillä voisi arvioida molempia mittareita (Verbeke et al. 2019).

Jo käytössä olevia rakennuksia varten BREEAM-järjestelmästä on myös olemassa BREEAM In-Use -versio. BREEAM In-Use -arvioinnilla voi mitata rakennuksen tämänhetkistä toimintaa ja sen avulla arvioida, mitä korjauksia rakennuksessa kannattaisi tehdä ja milloin ne kannattaisi suorittaa. BREEAM In-Use -järjestelmässä arvioidaan rakennuksen suorituskyvyn lisäksi myös kiinteistön hallintaa ja käyttöä. Järjestelmän arviointi ja pisteytys eroaa hieman uusien rakennuksien BREEAM-arvioinnista, mutta arviointimenetelmä ja tavoitteet ovat samankaltaisia. (BRE Global 2016).

2.2.3 LEED-ympäristöluokitusjärjestelmä

LEED-ympäristöluokitusjärjestelmä on kehitetty Yhdysvalloissa US Green Building Council -järjestön toimesta vuonna 1994. LEED-järjestelmää on päivitetty vuosien saatossa ja diplomityön kirjoitushetkellä käytössä on vuonna 2018 julkaistu versio 4.1. Järjestelmässä rakennukset arvostellaan neliporaisella asteikolla, jossa arvosanat heikoimmasta parhaimpaan ovat: "certified", "silver", "gold" ja "platinum". Arvioinnista voi saada korkeintaan 110 pistettä ja korkeimpaan arvosanaan vaaditaan vähintään 80 pistettä. (U.S. Green Building Council 2019a).

LEED-järjestelmässä arvioidaan rakennushanketta yhdeksässä eri kategoriassa. Kategoriat ovat:

- Integroivat menettelyt
- Sijainti ja liikenneyhteydet
- Kestävä maankäyttö
- Vedenkäytön tehokkuus
- Energian käyttö ja ilmastovaikutukset
- Materiaalien valinta ja kierrätys
- Sisäilman laatu
- Innovaatiot
- Alueelliset tekijät (U.S. Green Building Council 2019a).

LEED-järjestelmän arvioinnissa pisteitä ei lasketa SRI- ja BREEAM-järjestelmien tavoin luokittain, vaan kaikki pisteet lasketaan yhteen. Näin ollen arvioinnissa voi jonkin verran kompensoida heikkoa osa-aluetta hyvin pärjäävillä osa-alueilla. LEED-järjestelmässä on

kuitenkin BREEAM-järjestelmän tavoin pakollisia minimivaatimuksia tietyille tasoille pääsemiseksi, jolla varmistetaan riittävät ominaisuudet kaikista osa-alueista. SRI-mittarin tavoin LEED-järjestelmässä jaetaan pisteitä rakennuksen toiminnan seuranta- ja raportointikyvykkyyksistä. (Verbeke et al. 2019).

LEED-järjestelmästä on myös oma versionsa olemassa oleville rakennuksille. Järjestelmä on nimeltään ”LEED Operations and Maintenance”. Järjestelmässä mitataan rakennuksen toimintaa vuoden ajalta eli arviointia ei voi tehdä, mikäli rakennus ei ole ollut vähintään vuotta toiminnassa. LEED edellyttää myös, että kaikki rakennuksen tilat täytyy olla pääosin käytössä, jotta rakennuksen energiankulutuksen taso saadaan laskettua luotettavasti. Koska arviointi tehdään toteutuneen käytön mukaisesti, täytyy kiinteistön omistajalla olla pääsy rakennuksen vuokralaisten kulutustietoihin esimerkiksi sähköenergian osalta. (U.S. Green Building Council 2019b)

2.3 Digitaaliset kiinteistö- ja käyttäjäpalvelut

Älykkäiden rakennusten yksi keskeinen ominaisuus on erilaisten digitaalisten kiinteistö- ja käyttäjäpalveluiden mahdollistaminen. Digitaalisilla kiinteistöpalveluilla tarkoitetaan kiinteistön hallintaan suunnattuja palveluita, kun taas käyttäjäpalvelut ovat kiinteistön loppukäyttäjille suunnattuja palveluita. Digitaalisten kiinteistö- ja käyttäjäpalveluiden kehittämisen mahdollistaa älykkäiden järjestelmien jatkuvasti keräämä data. Pelkkä datan keräys ei kuitenkaan tee rakennuksesta tai kampuksesta älykästä vaan dataa pitäisi myös jotenkin hyödyntää sen toiminnassa (Vasileva et al. 2018). (Valks et al. 2018).

Digitaalisia kiinteistöpalveluita ovat esimerkiksi rakennuksen energiankulutusta, tilanhallintaa, turvallisuutta, taloteknisiä järjestelmiä sekä ylläpitoa tehostavat palvelut. Kiinteistön omistajan tai vuokralaisen näkökulmasta näillä pyritään tyypillisesti tehostamaan kiinteistön käyttöä. (Valks et al. 2018).

Hyvin monet digitaaliset kiinteistöpalvelut liittyvät jollain tavalla rakennuksen energiankulutuksen pienentämiseen, sillä taloautomaatiojärjestelmillä on pyritty jo pitkään vähentämään rakennusten energiankulutusta. Energiankulutusta pienentäviä kiinteistöpalveluita ovat esimerkiksi tilan ilmanvaihdon tai valaistuksen säätö tilan käytön mukaan. Myös suurin osa luvussa 2.2. esitellyn SRI-mittarin arvioimista palveluista liittyy energiankulutuksen pienentämiseen. Etenkin toimisto- ja kampusrakennukset ovat yleensä käytössä vain arkipäivisin, jolloin todellisen käytön mukaan säätyvät talotekniset järjestelmät voivat vähentää energiankulutusta merkittävästi (Valks et al. 2018).

Tilanhallinnan osalta digitaalisilla kiinteistöpalveluilla voidaan seurata tehokkaammin rakennuksen tilojen käyttöä sekä käyttöasteita. Yliopistokampuksilla tilojen käyttöaste on

monesti hyvin alhainen. Tämä voi johtua siitä, että varattua neuvottelu- tai opetustilaa ei käytetäkään tai tila on liian suuri käyttäjämäärään nähden. Esimerkiksi luentosalit saate-taan varata kursseille ilmoittautuneen opiskelijamäärän perusteella ennen kurssin alkua, mutta kaikki ilmoittautuneet eivät osallistukaan kurssille tai luentotilaisuuksiin. Sensori-teknologialla on mahdollista mitata yksittäisten tilojen käyttöastetta melko tarkasti, esi-merkiksi tilan sisäänkäynnille asetettujen laskureiden tai kamerateknologian avulla. Yh-distämällä tämä tieto koneoppimisjärjestelmään, on mahdollista arvioida tilaisuuteen saapuva henkilömäärä ennen tilaisuutta ja varata sopivan kokoinen tila. Tämänkaltaisella kiinteistöpalvelulla on mahdollista saada aikaan merkittäviä säästöjä tilakustannuk-sissa. Opetustilojen todellisesta käytöstä kerätty tieto auttaa myös suuresti kampuksen rakennus- ja tai korjaushankkeissa, jotta rakennettavista tiloista saadaan sopivan kokoi-sia. (Sutjarittham et al. 2018).

Älykkyyttä voi löytyä nykyisin myös hisseistä. Hissien energiankulutusta ja käyttäjien odotusaikaa voidaan pienentää arvioimalla etukäteen hissien käyttäjien liikkumistarvetta ja optimoimalla korien liikettä liikkumistarpeen mukaan. Esimerkiksi aamuisin toimistora-kennuksessa hissit voidaan opettaa kuljettamaan käyttäjiä sisääntulokerroksesta ylös toimistokerrokseen mahdollisimman sujuvasti. Hissin käyttöä voidaan optimoida myös sähköenergian ostohinnan tai vaikkapa rakennuksen aurinkosähkön tuoton perusteella. Edistyneisimmissä ratkaisuissa hissit voivat jopa tunnistaa käyttäjän ja optimoida ai-kataulutuksen sekä valita kerroksen juuri hänen mukaansa. (Ahn et al. 2017).

Datan keräys mahdollistaa myös rakennuksen turvallisuutta parantavia kiinteistöpalve-luita. Esimerkiksi tulipalon sattuessa sensoreilla voidaan seurata tulipalon leviämistä tai havaita mahdollisesti rakennukseen jääneitä ihmisiä. (Valks et al. 2018)

Kiinteistön ylläpidossa älykkäillä järjestelmillä voidaan helpottaa esimerkiksi siivouspal-veluiden toimintaa. Kun eri tilojen käyttömäärät ovat tiedossa, on helpompia arvioida sii-vouksen tarvetta ja kohdistaa resursseja käyttömäärien mukaisesti. Antureilla voidaan myös havaita ja lähettää ilmoituksia täyttyneistä jäteastioista, jolloin tyhjentämisen ajan-kohtaa voidaan suunnitella tehokkaammaksi ja säästää työntekijöiden aikaa muuhun (Misra et al. 2018). Samaa voidaan soveltaa myös loppuun käytettyihin käsipyyherulliin tai muihin tarviketäydennyksiin.

Kiinteistöjen ylläpitoa helpottaa myös erilaiset taloteknisten järjestelmien vikatilanteita tunnistavat palvelut. Järjestelmien tuottamien tietomäärien kasvaessa on koneoppimisen avulla mahdollista tunnistaa tietomäärästä poikkeamia. Poikkeama voisi olla esimerkiksi huoneen poikkeuksellisen alhainen lämpötila avatun ikkunan vuoksi. Ilman poikkeamien tunnistusta huonetta saatettaisiin yrittää lämmittää tuloksetta. Vikatilanteita tunnistavilla

palveluilla voidaan myös havaita rikkoutuneita laitteita ja jopa ennustaa laitteiden rikkoutumista erilaisten oireiden avulla. Esimerkiksi huonokuntoinen tuuletin saattaa aiheuttaa antureilla tunnistettavaa tärinää ennen hajoamistaan. (Dey et al. 2018).

Kiinteistön loppukäyttäjille suunnattuja käyttäjäpalveluita ovat esimerkiksi rakennuksessa liikkumista tai sopivien tilojen löytämistä helpottavat palvelut. Kampusrakennuksille on tyypillistä, että rakennukset ovat isoja ja loppukäyttäjien vaihtuvuus on suurta. Tällöin tarve sisätilojen opastuspalveluille kasvaa. Oikeaan paikkaan löytämistä voidaan kuitenkin helpottaa sisätilapaikannusjärjestelmällä. Koska satelliittipohjainen paikannusjärjestelmä GPS ei toimi tarkasti heikoissa vastaanotto-olosuhteissa, kuten sisätiloissa, täytyy sisätilapaikannus tehdä rakennuskohtaisesti. Sisätilapaikannus voidaan toteuttaa rakennuksessa esimerkiksi langattomien verkkojen sijaintiin perustuen. Tällöin käyttäjän sijainti arvioidaan rakennuksen langattoman verkon eri tukiasemien signaalin perusteella. Sisätilapaikannus mahdollistaa navigointipalvelun tarjoamisen käyttäjille esimerkiksi opetustilojen löytämistä varten. (Valks et al. 2018).

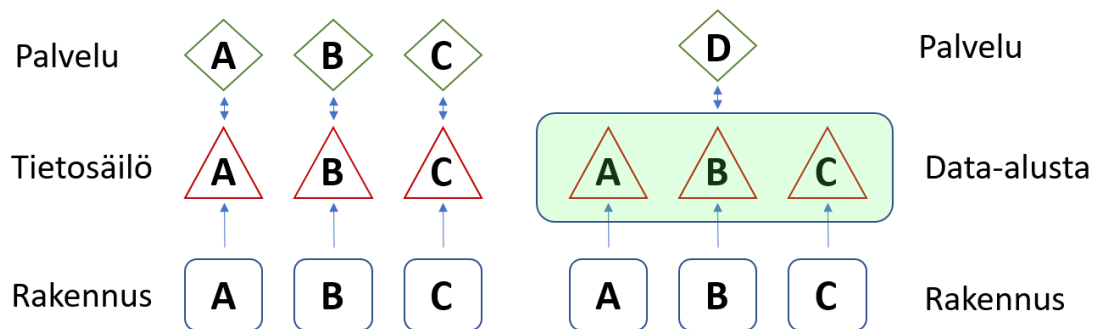
Opiskelutilojen käyttöasteen kasvaessa opiskelijoille voi tulla eteen tilanne, että vapaita opiskelutiloja on vaikea löytää etenkin ruuhka-aikoina. Digitaalisilla käyttäjäpalveluilla voidaan tarjota käyttäjille tietoa lähellä olevista vapaista tiloista reaaliajassa, kun tilojen käyttöasteita seurataan ja käyttäjän sijainti tiedetään (Valks et al. 2018). Vastaavasti käyttäjille voidaan tarjota tietoa esimerkiksi kampuksella sijaitsevista palveluista. Vasileva et al. tekemän kyselytutkimuksen mukaan suurin osa kampuksen käyttäjien itse ehdottamista älykkäistä käyttäjäpalveluista liittyi reaaliaikaisen tiedon saamiseen esimerkiksi vapaista opiskelualueista tai ruokaloiden ruuhkatilanteista (Vasileva et al. 2018).

Rakennuksen käyttäjät saattavat myös toisinaan olla tyytymättömiä tilojen sisäilman olosuhteisiin. Tarjoamalla loppukäyttäjälle tietoa sisäilman olosuhteista ja mahdollisuus vaikuttaa niihin, voidaan käyttäjien tyytyväisyyttä olosuhteisiin parantaa (Vasileva et al. 2018). Käyttäjäpalveluun syötettyjen palautteiden perusteella älykkäitä taloteknisiä säätöjärjestelmiä voidaan myös opettaa, jolloin ajan kuluessa järjestelmät osaavat paremmin arvioida käyttäjien toivomat olosuhteet ja toimia toiveiden mukaisesti.

Käyttäjäpalveluiden rakentamisen haasteena on usein se, että palveluiden tarvitsema data on liian hankalasti saatavilla tai väärässä muodossa. Talotekniset järjestelmät saattavat esimerkiksi kerätä dataa omiin säilöihinsä, jolloin datan kokoaminen eri järjestelmistä on hankalaa. Taloteknisten järjestelmien valinnassa kannattaakin ottaa huomioon kerätyn datan formaatti ja järjestelmien yhteensopivuus. (Vasileva et al. 2018)

Datan hyödyntämisen helpottamiseksi data kannattaa tallentaa eri lähteistä yhteiseen säilöön esimerkiksi data-alustalle. Data-alusta mahdollistaa palveluiden ja sovellusten

hyödyntämisen kaikissa samaa data-alustaa käyttävissä rakennuksissa. Kiinteistön omistaja voi siis esimerkiksi tallettaa kaikista rakennuksistaan keräämänsä datan samalle data-alustalle ja julkaista palvelun, joka toimii samalla tavalla kaikissa rakennuksissaan käyttäen rakennuskohtaista dataa. Näin ollen sovelluksen tai palvelun kehitys- ja ylläpitokuluja voidaan jakaa useamman rakennuksen kesken. Data-alustan toimintaa on havainnollistettu alla olevassa kuvassa 5. Kuvassa oikealla puolella rakennuksista kerätty data on talletettu data-alustalle yhdenmukaisessa muodossa, jolloin käyttäjäpalvelulla D voidaan hyödyntää kaikkien kolmen rakennuksen dataa ilman rakennuskohtaista räätälöintiä. (Bröring et al. 2017)



Kuva 5. Esimerkki data-alustan toimintamallista

Data-alusta voi olla räätälöity kiinteistön omistajalle tai vuokralaiselle, mutta markkinoilla on myös kolmannen osapuolen data-alustoja, jolloin datan hyödynnettävyys kasvaa entisestään, kun alustaa käyttää yhä useampi osapuoli. Data-alustat mahdollistavat myös tulojen saamisen tarjotusta datasta, sillä palveluntarjoajat saattavat olla myös valmiita maksamaan hyvin jäsenellystä ja helppokäyttöisestä datasta. Esimerkiksi kampuksella palveluita tarjoavat yritykset voivat olla kiinnostuneita tietämään, miten kampuksen käyttäjät rakennuksessa liikkuvat ja mihin aikaan. Data-alustan käyttäjämäärän ja palveluiden kasvaessa sekä kehittyessä alustan tuottama lisäarvo eri osapuolille kasvaa. (Säynäjoki et al. 2017).

Avaamalla kampuksilla kertyvää dataa julkisten rajapintojen kautta yleiseen käyttöön saadaan myös kampuksen ulkopuolisia toimijoita houkuteltua kehittämään uusia palveluita kampusten käyttäjille. Kerätyn datan julkaisu avoimeksi voi myös antaa avoimemman kuvan yliopistosta ja parantaa luottamusta sekä läpinäkyvyyttä yliopistomaailmaan. Avoin data kampuksen toiminnasta mahdollistaa myös datan hyödyntämisen opiskelijoiden projekteissa ja näin ollen tarjota arvokasta lähdemateriaalia opiskelijoille. Opiskelijat eli rakennuksen käyttäjät voisivat myös kehittää silloin itse juuri sellaisia käyttäjäpalveluita kuin he kokevat tarvitsevänsä. (Vasileva et al. 2018).

Datan keräys ja hyödyntäminen herättää myös usein huolia rakennuksen käyttäjissä datan yksityisyyden ja turvallisuuden osalta. Näitä huolia voidaan kuitenkin lieventää varmistamalla jaetun datan suojaus ja anonymisointi. Datan anonymisoinnissa tieto käsitellään sellaiseen muotoon, ettei sitä voi yhdistää tiettyyn henkilöön. Käyttäjät myös suhtautuvat datan keräämiseen ja julkaisuun avoimemmin, kun heille on ensin kerrottu datan keräämisestä ja sen jakamisen hyödyistä. (Vasileva et al. 2018).

2.4 Kampuksen käyttäjäkokemus

Käyttäjäkokemuksen parantaminen on yksi merkittävimmistä älykkäiden rakennusten tavoitteista (Arditi et al. 2015). Kampuksen mittakaavassa sujuvan käyttäjäkokemuksen tärkeys korostuu entisestään. Korkeakoulut kilpailevat keskenään parhaista opiskelijoista ja haluavat sen vuoksi houkutella mahdollisimman paljon hakijoita myös fyysisten tilojensa avulla (Hanssen & Solvoll 2015).

Yksilöidyt ja mukautuvat palvelut käyttäjille ovat tärkeä osa älykästä ekosysteemiä (Galego et al. 2016). Käyttökokemuksen parantamiseksi käyttäjälle on hyvä jättää mahdollisuus vaikuttaa tilan olosuhteisiin (Buckman et al. 2014). Esimerkiksi lämpötilan osalta ihmisillä voi olla jopa kuuden celsiusasteen ero optimaalisen huonelämpötilan välillä (Tuomaala et al. 2018). Yksilöllisesti säädetyillä lämpöolosuhteilla voidaan parantaa käyttäjien lämpöviihtyvyyttä ja sitä kautta myös tarjota mahdollisimman hyvä oppimis- tai työskentely-ympäristö (Tuomaala et al. 2018).

Yliopistokampuksen käyttäjätyytyväisyyteen vaikuttaa myös toimivat peruspalvelut. Käyttäjät arvostavat erityisesti hyvää sisäilmaa, turvallista kampusaluetta, tilojen siistiä yleisilmettä ja viihtyisyyttä sekä tiedotusta poikkeustilanteista (Kärnä et al. 2013). Älykkäillä palveluilla voidaan käyttäjille tarjota tietoa näiden peruspalveluiden toimivuudesta sekä tarjota esimerkiksi palautekanava tilojen kehitystä sekä käyttäjätyytyväisyyden parantamista varten.

3. RAKENNUKSEN ÄLYKKYYDEN PARANTAMINEN KORJAUSHANKKEESSA

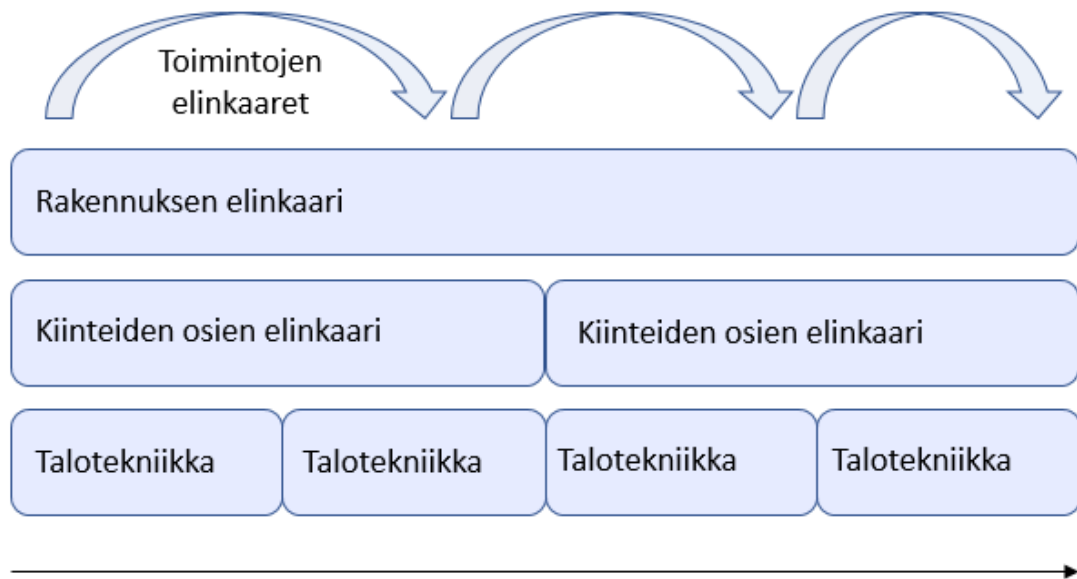
Edellisessä luvussa käsiteltiin yleisesti älykkään kampuksen määritelmää sekä rakennuksen älykkyyden mittausta. Tässä luvussa käsitellään rakennuksen teknistä elinkaarta ja korjaushankkeen eri vaiheita. Lisäksi luvussa esitellään, mitä haasteita ja rajoituksia älykkäiden järjestelmien toteutuksessa on korjaushankkeessa.

3.1 Kiinteistön tekninen elinkaari

Rakennusten kunto heikkenee ajan myötä rakennuksen käytön ja ulkoisten olosuhteiden vaikutusten vuoksi. Rakennuksen kunnon heikentyessä sille tehtyjä korjauksia enemmän, rakennukselle alkaa kertyä korjausvelkaa. Korjausvelan kasvu nostaa rakennuksen ylläpitokustannuksia ja tyypillisesti ylläpitokustannukset ovatkin korkeimmillaan noin 30 vuoden iässä ennen ensimmäisiä peruskorjauksia. Rakennusten korjausvelkaa pienennetään tekemällä korjausinvestointeja, jolla rakennusten kuntoa nostetaan takaisin halutulle tasolle. (Mills et al. 2014).

Rakennuksen kulumisen lisäksi korjaustarvetta voi lisätä uusi rakennuslainsäädäntö tai vaatimustason nousu esimerkiksi teknisten järjestelmien osalta. Teknisten järjestelmien kehitys onkin lyhentänyt rakennusten tehokasta elinkaarta. Rakennuksissa täytyy siis tehdä aikaisempaa useammin korjausinvestointeja, jotta niiden teknisten järjestelmien taso pysyy hyväksyttävällä tasolla. (Mills et al. 2014).

Rakennuksen elinkaari voidaan jakaa kolmeen eri vaiheeseen: valmistukseen, käyttöön ja ylläpitoon sekä purkuvaiheeseen (RIL 216-2013). Rakennuksen elinkaaren lisäksi sen eri osilla on eripituisia elinkaaria. Esimerkiksi runkorakenteen elinkaari kattaa tyypillisesti koko rakennuksen elinkaaren, mutta kiinteitä osia, pintarakenteita ja talotekniikkaa uusitaan tarpeen mukaan rakennuksen elinkaaren aikana. Rakennusosien elinkaarien lisäksi rakennuksessa sijaitsevat toiminnot voivat muuttua rakennuksen elinkaaren aikana. Rakennuksen käytön ja ylläpidon elinkaarta on havainnollistettu kuvassa 6. (RT 13-11120 2013).



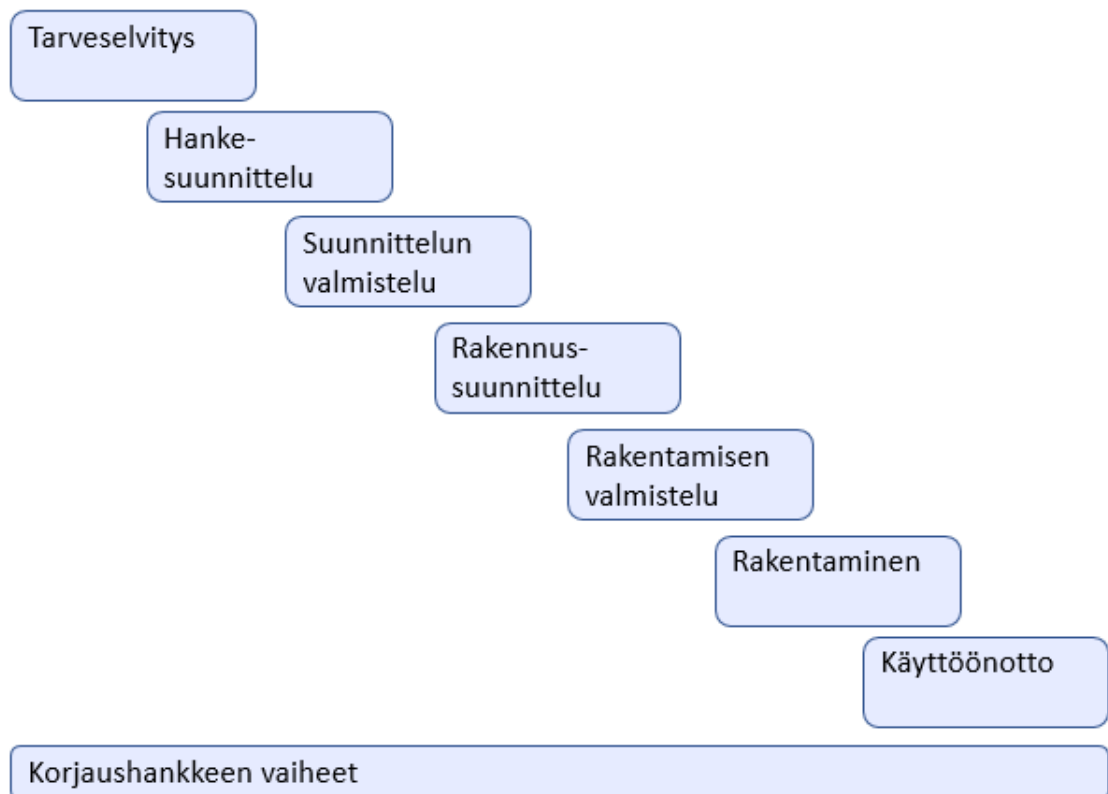
Kuva 6. Rakennuksen ja sen osien käytön ja ylläpidon elinkaari (RT 13-11120 2013).

Rakennuksen talotekniset järjestelmät suunnitellaan yleensä 10 - 50 vuoden käyttöiälle. Tavallisesti laitteiden vanhanaikaistuminen määrää toteutuvan käyttöiän. Laitteiden uusimistarve voi syntyä teknisestä vanhenemisesta, tilojen toiminnallisista muutoksista tai taloudellisista syistä. (RIL 216-2013).

Taloteknisten järjestelmien uusimiseen on hyvä kiinnittää huomiota jo rakennuksen suunnitteluvaiheessa, koska niiden käyttöikä on huomattavasti lyhyempi kuin rakennuksen rungon. Uusimiseen voi varautua esimerkiksi sijoittamalla järjestelmät paikkoihin, joihin on myös rakennuksen käytön ja ylläpidon aikana helppo pääsy. Lisäksi runkorakenteisiin voi suunnitella valmiiksi ylimääräisiä aukkoja tulevia asennuksia varten. Etenkin toimistorakennuksissa talotekniset järjestelmät on hyvä suunnitella niin, että tiloissa voidaan tehdä mahdollisimman helposti väliseinämuutoksia. Tällä helpotetaan huomattavasti tilamuutosten tekoa toimintojen muuttuessa. (RIL 216-2013).

3.2 Korjaushankkeen vaiheet

Korjaushanke on jaoteltavissa seitsemään eri vaiheeseen (RT 13-11120 2013). Vaiheet ovat esitelly ajallisessa järjestyksessään alla olevassa kuvassa 7.



Kuva 7. Korjaushankkeen vaiheet (RT 13-11120 2013).

Korjaushanke alkaa aina tarveselvityksen pohjalta. Tarveselvityksessä arvioidaan korjaushankkeen tarpeellisuutta ja laajuutta. Samalla päätetään, lähdetäänkö hankkeessa tavoittelemaan perustasoa älykkäämpiä ratkaisuja (RIL 267-2015). Jos tarveselvityksessä korjaushanke todetaan tarpeelliseksi, aloitetaan korjaushankkeen hankesuunnittelu. Hankesuunnittelussa määritellään tarkemmin hankkeen tavoitteet sekä arvioidaan olemassa olevien rakenteiden ja järjestelmien kelpoisuus. Hankesuunnittelun jälkeen pystytään jo tekemään melko tarkka kustannusarvio hankkeesta, sillä suurin osa kustannuksista määräytyy tarveselvityksen ja hankesuunnitelman valintojen pohjalta. (RT 13-11120 2013).

Hankesuunnittelun jälkeen alkaa varsinainen rakennussuunnittelu. Tällöin valitaan lopulliset ratkaisut ja järjestelmät sekä suunnitellaan niiden toteutus yksiselitteisesti. Älykkäiden järjestelmien osalta tulee rakennussuunnitteluvaiheessa pohtia tarkkaan järjestelmien arkkitehtuuri eli erityisesti laitteiden sijainnit ja tiedonsiirto laitteiden välillä. (RIL 267-2015).

Rakennusvaiheessa korjaustyöt toteutetaan suunnitelmien mukaisesti. Korjaushankkeessa on yleistä, että suunnitelmia täydennetään ja muutetaan vielä rakennustöiden edetessä (RT 13-11120 2013). Rakennustöiden laatu varmistetaan tarkastamalla työ-

suorituksia rakennustöiden edetessä. Korjaushankkeen lopuksi tehdään vastaanottotarkastus, jossa älykkäät järjestelmät testataan perusteellisesti. Vastaanottotarkastuksen jälkeen on tärkeää opastaa käyttäjä uusien järjestelmien ja laitteiden käyttöön, jotta älykkäisiin järjestelmiin tehty panostus saadaan hyödynnettyä mahdollisimman tehokkaasti. (RIL 267-2015).

Kiinteistön omistajan näkökulmasta kiinteistöjen uudistamisen projektit voidaan jakaa kolmeen vaiheeseen. Vaiheet ovat projektin kehittämisvaihe, toteutusvaihe sekä projektin päättäminen (Yu et al. 2007). Projektin kehittämisvaiheessa arvioidaan tarveselvityksen tavoin korjaushankkeen tarpeellisuus ja laajuus sekä tehdään alustavia suunnitelmia. Projektin kehittämisvaihe kannattaa tehdä huolella, sillä kehittämisvaiheessa tehtyjen määritelmien ja suunnitelmien tarkkuudella on havaittu olevan yhteys projektin onnistumiseen. Kattavalla projektin toteutusvaihetta edeltävällä suunnittelulla voidaan siis edesauttaa rakennusprojektin aikataulussa ja kustannusraameissa pysymistä (Son & Kim 2015). Projektin toteutusvaiheessa tehdään lopulliset suunnitelmat ja rakennustyöt. Projektin päättäminen alkaa rakennuksen käyttöönotosta ja siinä arvioidaan projektin onnistuminen ja varmistetaan rakennuksen toimivuus sekä oikeaoppinen käyttö (Yu et al. 2007). Projektin jälkeisen arvioinnin perusteella voidaan onnistuneita asioita ja käytäntöjä siirtää käytettäväksi myös seuraavissa projekteissa ja oppia epäonnistumisista. (Yu et al. 2007).

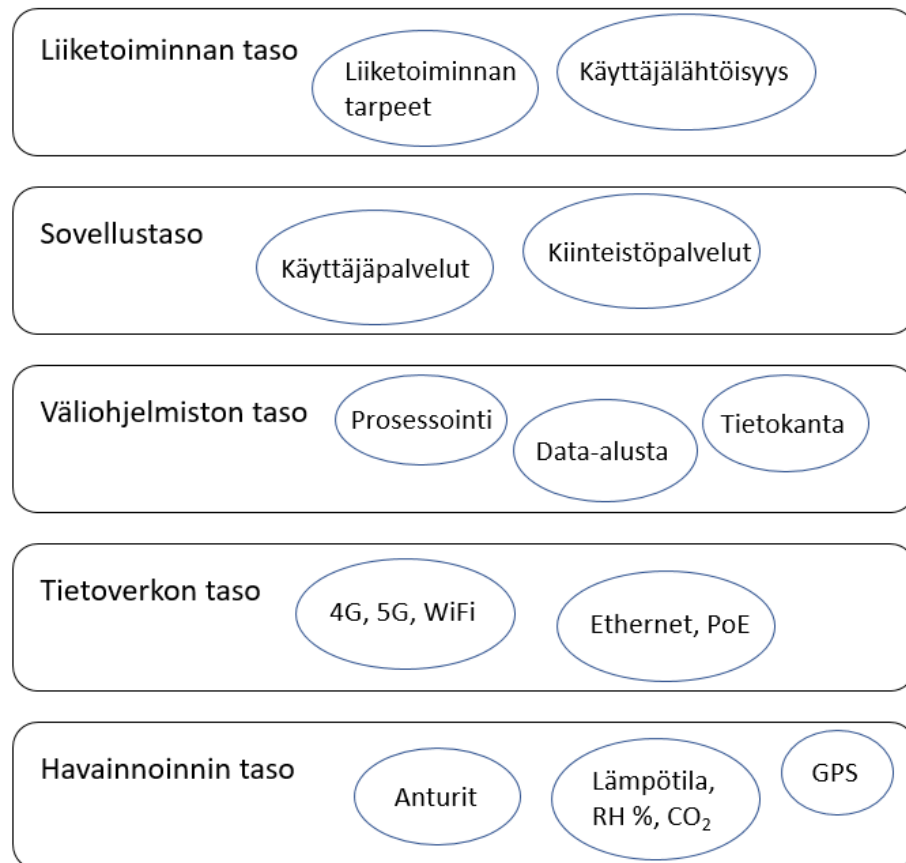
3.3 Älykkäät järjestelmät korjaushankkeessa

Korjaushankkeissa rakennuksen älykkyyttä voidaan lisätä päivittämällä rakennuksen taloteknisiä järjestelmiä sekä lisäämällä rakennukseen erilaisia antureita, joilla mahdollistetaan tiedon kerääminen älykkäitä palveluita varten. Luvussa 3.3.1 käsitellään älykkäiden järjestelmien arkkitehtuuria ja luvussa 3.3.2 arvioidaan älykkäiden järjestelmien toteutuksen haasteita sekä rajoituksia.

3.3.1 Älykkäiden järjestelmien arkkitehtuuri

Rakennusten älykkäiden järjestelmien taustalla olevat laitteet ovat IoT-teknologiaa (Internet of Things, esineiden internet). IoT-teknologiassa erilaiset fyysiset ja virtuaaliset objektit voidaan yhdistää toisiinsa ja näin mahdollistetaan älykkäiden palveluiden ja sovellusten kehitys. IoT-järjestelmiä on perinteisesti tarkasteltu teknologisesta näkökulmasta. IoT-teknologialla kuitenkin pyritään luomaan älykkäitä sovelluksia, jolloin termiä kannattaakin tarkastella enemmän sovellusten näkökulmasta. (Čolaković & Hadžialić 2018).

IoT-arkkitehtuuri voidaan jakaa viiteen eri tasoon. Tasot ovat havainnoinnin taso, tietoverkon taso, väliohjelmiston taso, sovellustaso sekä liiketoiminnan taso. Havainnoinnin taso koostuu erilaisista antureista ja laitteista, jotka tuottavat tietoa palveluita varten. Havainnoinnin tasolla tuotettu data siirretään turvallisesti tietoverkon tason avulla prosessointia varten väliohjelmiston tasolle, esimerkiksi tietokantaan tai data-alustalle. Siirto voidaan tehdä langallisesti tai erilaisilla langattomilla teknologioilla. Väliohjelmiston tasolla sijaitsee erilaiset rajapinnat, joista tietoa voidaan hakea. Väliohjelmiston tasolla säilytettävää tietoa käyttää sovellustasolla sijaitsevat sovellukset ja palvelut. Liiketoiminnan tasolla tehdään päätöksiä tarvittavista sovelluksista ja hyödynnetään sovelluksien ja palveluiden tarjoamaa tietoa. IoT-arkkitehtuuria ja siinä esiintyviä teknologioita on havainnollistettu alla olevassa kuvassa 8. (Mehta et al. 2018).



Kuva 8. IoT-arkkitehtuurin tasot ja niissä esiintyviä teknologioita (Mehta et al. 2018).

3.3.2 Järjestelmien toteutuksen haasteet ja rajoitukset

Onnistuneessa älykkäässä järjestelmässä täytyy kaikkien älykkäiden järjestelmien arkkitehtuurin osa-alueiden olla hyvin suunniteltuna ja toteutettuna. Arkkitehtuurin suurimpia

haasteita ovat erilaisten laitteiden yhteensopimattomuus ja niiden tuottaman tiedon turvallinen ja hallittu käsittely. Näiden lisäksi haasteita on usein myös liiketoiminnan ja käyttäjien toiveiden sekä tarpeiden mukaisten sovellusten kehittämisessä. (Mehta et al. 2018).

Erilaisten laitteiden yhteensopivuutta on pyritty parantamaan erilaisilla IoT-arkkitehtuurin standardeilla. IoT-teknologiaa kehittäviä standardointielimiä ovat esimerkiksi ITU, ETSI, IETF, IEEE, W3C, OneM2M, OASIS ja NIST. Eri standardeilla on kuitenkin erilaisia sisältöjä ja tavoitteita, jonka vuoksi IoT-standardien välisessä integroinnissa on ollut haasteita. (Čolaković & Hadžialić 2018).

Älykkäiden järjestelmien asentaminen rakennukseen kannattaa aina tehdä korjaushankkeen yhteydessä, sillä asennus jälkikäteen on usein hankalampaa. Erilaiset sensorit vaativat yleensä vähimmäisvaatimuksena kytkennän sähköverkkoon ja tietoverkkoon. Lisäksi esimerkiksi läsnäoloa tunnistavien antureiden asennuksen sijainti on oltava sopiva, jotta sensorilta on tarvittava näköyhteys tilaan. Sijainnin on oltava myös sopiva anturin kiinnikkeille ja esimerkiksi kattoon tehtävät asennukset voivat korkeissa tiloissa vaatia erityisjärjestelyitä ja nostolaitteita. Vähävirtaiset anturit voivat toimia myös langattomasti akkuvirralla, mutta monet niistä edellyttävät paristojen tai laitteen vaihtoa muutaman vuoden välein. Vähävirtaisuus rajoittaa myös anturin ominaisuuksia kerätyn tiedon käsittelyn ja tiedonsiirron osalta (Čolaković & Hadžialić 2018). (Sutjarittham et al. 2018).

IoT-laitteiden valinnassa laitteiden käyttämä verkkoyhteys aiheuttaa erilaisia rajoitteita. Langattomien verkkojen laitteet voidaan asentaa langallisen verkon laitteita vapaammin, mutta myös langattomilla verkoilla on rajoitteita. Langattoman verkon valinnassa joudutaankin tasapainoilemaan laitteiden virrankulutuksen, tiedonsiirron kapasiteetin, signaalin kantaman sekä verkkoinfrastruktuurin hinnan kanssa. Yksikään langaton teknologia ei ole näissä kaikissa osa-alueissa paras, vaan käytetty teknologia on valittava käyttökohteen perusteella. Esimerkiksi IoT-laitteita varta vasten suunniteltu Sigfox-verkko tarjoaa kymmenien kilometrien kantaman signaalille sekä alhaisen virrankulutuksen, mutta mahdollistaa vain 12 tavun kokoisten viestien lähetyksen. Tämä estää suoraan esimerkiksi kuvien siirron verkossa. Toisaalta rakennuksien sisällä tyypillisesti käytettävä WiFi-teknologia mahdollistaa jopa videokuvan siirtämisen, mutta signaalin kantama pienenee kymmenien metrien tasolle ja virrankulutus kasvaa huomattavasti. Tämän lisäksi lyhyen kantaman verkoissa verkon rakennus ja ylläpito jää kiinteistön omistajan tai vuokralaisen vastuulle. Pitkän kantaman verkoissa, kuten 4G tai Sigfox -verkoissa, verkon käyttäjät maksavat verkon käytöstä verkon operaattorille. (Vannieuwenborg et al. 2018).

Mikäli korjaushankkeen yhteydessä ei vielä olla valmiita investoimaan älykkäisiin järjestelmiin, voidaan myöhempää asennusta helpottaa rakentamalla sopiviin sijainteihin kaapelointia valmiiksi. Tiloihin voidaan sijoittaa esimerkiksi PoE (Power over Ethernet) -liitännöitä, jolla yhteensopivat anturit voidaan yhdellä kaapelilla yhdistää sähkö- ja tietoverkkoon (Sutjarittham et al. 2018). Valmiiden liitännöiden avulla antureita saadaan helpommin kytkettyä korjaushankkeen jälkeenkin.

4. TUTKIMUSMENETELMÄT JA TUTKIMUKSEN SUORITUS

Tutkimus toteutettiin käyttämällä kvalitatiivista eli laadullista tutkimusotetta. Kvalitatiivisella tutkimusotteella mahdollistettiin ilmiön kokonaisvaltainen tarkastelu sekä tutkimussuunnitelman tarkentuminen tutkimuksen edetessä (Hirsjärvi et al. 2007). Tutkimuksen aineiston keruu suoritettiin kohdennetusti eikä esimerkiksi satunnaisotannalla, mikä on tyypillistä laadullisessa tutkimuksessa. (Metsämuuronen 2001).

Tutkimuksessa käytettiin monimenetelmäisesti useampaa eri tutkimusmenetelmää. Käytettyjä tutkimusmenetelmiä olivat kirjallisuustutkimus, työpajatyöskentely, haastattelututkimus sekä tutkimuskohteen SRI-mittaus. Lisäksi työpajatyöskentelyn ohessa selvitettiin osallistujien näkökulmia kyselytutkimuksella. Useamman eri tutkimusmenetelmän käytöllä voidaan saada kattavampi kuva tutkittavasta ilmiöstä ja parantaa näin tutkimustulosten luotettavuutta (Aaltola & Valli 2010).

4.1 SRI korjaushankkeen työkaluna -työpaja

Tutkimuksen empiirisessä osassa järjestettiin työpaja SRI:n hyödyntämisestä kampuskiinteistön korjaushankkeessa torstaina 27.6.2019. Työpajaan kutsuttiin Suomen Yliopiskinkiinteistöt Oy:n henkilöstöä ja paikalla oli lopulta kuusi osallistujaa. Työpajan aluksi osallistujille esiteltiin SRI-mittarin taustaa, laskentaprosesseja sekä kehityshankkeen aikataulua. Osallistujien tiedettiin tuntevan BREEAM-ympäristöluokitusjärjestelmä, joten mittaria vertailtiin lyhyesti myös siihen.

Indikaattorin esittelyn jälkeen osallistujat vastasivat kyselyyn, jossa selvitettiin indikaattorin merkitystä. Kysely sisälsi väittämiä indikaattorin hyödyistä ja osallistujat arvioivat kuinka tärkeinä he pitivät kyseistä väittämää. Väittämät ja arviointiasteikko ovat esitetty alla olevassa taulukossa 3. Kyselyn tavoitteena oli selvittää, millaisia hyötyjä SRI-mittarista voisi olla kiinteistöjen omistajan näkökulmasta.

Taulukko 3. Työpajassa esitetyn kyselyn väittämät ja arviointiasteikko

Keskittyen kampusrakennuksiin, kuinka tärkeänä pidät SRI-mittaria seuraavien tavoitteiden saavuttamiseksi? SRI-mittarin tulisi...	
Ei lainkaan tärkeää	Tarjota käyttäjille ja kiinteistöhallintoon tietoa kiinteistön nykyisistä älykkäistä palveluista
Ei kovin tärkeää	Tarjota käyttäjille ja kiinteistöhallintoon tietoa älykkäiden palveluiden mahdollisuuksista
	Tarjota rakennuksen omistajille tietoa, miten nostaa älykkyyden tasoa rakennuksessa
Jonkin verran tärkeää	Mahdollistaa rakennuksien älykkyyden vertailu kiinteistöjen ostamisen tai vuokraamisen yhteydessä
Tärkeää	Parantaa kiinteistön markkina-arvoa kiinteistöjä myydessä tai vuokratessa
	Tarjota suunnitteluvaiheen ohjeistusta uudisrakentamisessa
Erittäin tärkeää	Tarjota suunnitteluvaiheen ohjeistusta korjausrakentamisessa
Ei mielipidettä	Helpottaa sähkö-, lämpö- ja vesi-yhtiöitä kysyntäjoustoa edistävien teknologioiden yleistymisessä rakennuksissa
	Tarjota verkkoyhtiöille tietoa rakennuskannan energiankulutuksen joustavuudesta
	Tarjota älykkäiden järjestelmien ja automaatiojärjestelmien valmistajille uusia mahdollisuuksia kaupankäyntiin

Samat väittämät oli esitetty maaliskuussa 2019 SRI:n toisen teknisen tutkimuksen sidosryhmille lähetetyssä kyselyssä. Kyselyn jälkeen työpajan osallistujille näytettiin kyselyn tulokset ja niitä vertailtiin SRI-tutkimushankkeen tuloksiin vastaavasta kyselystä. Työpajan vastaukset kerättiin sähköisesti ja nimettöminä Microsoft Forms -palveluun.

Työpajan toisessa osassa tehtävänä oli ideoida, miten SRI-mittaria voitaisiin hyödyntää korjaushankkeen eri vaiheissa ja mitä haasteita korjaushankkeessa voisi olla älykkäiden järjestelmien toteutuksessa. Ideoita kerättiin yhdessä tilan valkotalulle jaoteltuna korjaushankkeen vaiheittain.

4.2 SRI-mittari kampusrakennuksen älykkyyden mittauksessa

SRI-mittarin soveltuvuutta kampusrakennusten älykkyyden mittaukseen arvioitiin suorittamalla mittaus Jyväskylän yliopiston kampuksen Ruusupuisto-rakennuksessa. Ruusupuisto on Suomen Yliopistokiinteistöt Oy:n omistama vuonna 2015 valmistunut uudisrakennus. Tarkasteltava rakennus näkyy alla olevassa kuvassa 9. (Suomen Yliopistokiinteistöt Oy 2015).



Kuva 9. Tutkimuskohteena toiminut Jyväskylän yliopiston Ruusupuisto -rakennus

Rakennuksen suunnittelussa on kiinnitetty erityishuomiota sen ympäristövaikutuksiin ja rakennus onkin saavuttanut BREEAM-ympäristöluokituksen "Very Good". Ruusupuistossa on esimerkiksi energiatehokas automaatiojärjestelmillä ohjattu talotekniikkajärjestelmä ja omaa sähköenergian tuotantoa aurinkopaneeleilla. Rakennuksella on myös hyvä lämmöneristyskyky ja sen lämmöntuotantomenetelmäksi on valittu kaukolämpö. Kuvassa 10 näkyy rakennukselle myönnetty BREEAM-sertifikaatti. (Suomen Yliopistokiinteistöt Oy 2015).



Kuva 10. BREEAM-sertifikaatti tutkimuskohteen pääsisääkäynnillä

Ruusupuiston ympäristömyönteisyys näkyy myös rakennuksen sijainnissa. Rakennus sijaitsee lähellä Jyväskylän keskustaa hyvien liikenneyhteyksien varrella ja sijainti on muiden kampuksen yliopistorakennusten suhteen keskeinen. Ruusupuistossa on myös järjestetty pysäköintimahdollisuudet autohallin lisäksi 400 polkupyörälle. (Suomen Yliopistokiinteistöt Oy 2015).

Rakennuksen tilojen suunnittelussa ja rakentamisessa kiinnitettiin huomiota muuntojoustavuuteen, jotta mahdolliset tilamuutokset ovat helpommin toteutettavissa. Lisäksi tilojen käyttäjälähtöisyys varmistettiin rakennuksen tulevista käyttäjistä muodostetun tilatiimin avulla. Tilatiimi toimitti rakennushankkeessa lähtötietoja tilojen toiminnallisista tarpeista suunnitteluun ja sen toiminta on jatkunut myös käyttöönotto- ja takuuvaiheessa mahdollisten muutos- tai takuukorjaustarpeiden selvittämiseksi. (Suomen Yliopistokiinteistöt Oy 2015).

Ruusupuiston SRI-mittauksessa suoritettiin SRI:n ensimmäisen teknisen tutkimuksen loppuraportin mukainen tärkeintä 52 palvelua mittaava kevennetty versio heinäkuussa 2019. Kevennettyyn versioon on SRI:n kehitysryhmän toimesta valittu yhtenäinen kokoelma palveluita, joiden toiminnalliset tasot ovat mitattavissa käytännössä ja joilla arvioitiin olevan eniten vaikutusta (Verbeke et al. 2018).

Ruusupuiston palveluiden toiminnalliset tasot arvioitiin yhdessä kampuksen teknisen managerin sekä talotekniikan ammattilaisen kanssa käymällä palveluluetteloa läpi palvelu kerrallaan. Palveluluettelon palvelut käännettiin englannista suomeksi diplomityön tekijän toimesta ennen mittausta. Mittaustilanteen ajallinen kesto oli noin kaksi tuntia. Suurin osa palveluiden toiminnallisista tasoista kirjattiin ylös kampuksen teknisen managerin ja

talotekniikan ammattilaisen kanssa käytyjen keskustelujen pohjalta. Kahden palvelun osalta toiminnalliset tasot käytiin erikseen tarkistamassa rakennuksen tiloista.

4.3 Validoivat haastattelut

Tutkimuksen loppuvaiheessa diplomityön keskeisiä tuloksia validoitiin yksilöittäin suoritettujen teemahaastatteluiden avulla. Haastattelu valittiin tiedonkeruumenetelmäksi, koska se mahdollistaa saatujen vastauksien selventämisen ja syventämisen (Hirsjärvi et al. 2007). Haastatteluja tehtiin kaksi kappaletta. Haastatteluiden tarkoituksena oli vahvistaa ja täydentää työpajasta sekä kirjallisuustutkimuksesta saatuja havaintoja. Haastattelut suoritettiin teemahaastatteluina, koska tarkoituksena oli herättää keskustelua tutkimuksen havaintojen ympärillä. Teemahaastattelu haastattelutyypinä mahdollisti keskustelun ja kysymysten esittämisen myös haastattelun aikana esiin tulleista asioista.

Haastateltaviksi henkilöiksi valittiin SRI-mittariin laajasti perehtynyt asiantuntija sekä rakennusautomaation ja älykkäiden rakennusten suunnittelun asiantuntija. Sopivan haastatteluajan löytämisen helpottamiseksi haastateltavien kanssa sovittiin 30 minuutin ajat haastatteluille. Alla olevassa taulukossa 4 on esitetty haastatteluiden ajankohdat, haastateltavien henkilöiden roolit sekä haastatteluiden nauhoitetun osuuden ajalliset kestot.

Taulukko 4. Tutkimushaastatteluiden ajankohdat ja haastateltavien henkilöiden roolit

Numero	Rooli	Päivämäärä	Haastattelun kesto
1	SRI-asiantuntija	5.9.2019	24 min
2	Älykkäiden rakennusten suunnittelun asiantuntija	17.9.2019	26 min

Haastattelut toteutettiin verkkohaastatteluna Microsoftin Skype for Business -palvelussa. Haastattelut äänitettiin palvelun nauhoitustoiminnolla ja haastateltavilta kysyttiin suullisesti lupa nauhoitukseen ennen nauhoituksen aloitusta. Haastatteluiden aikana haastateltaville näytettiin myös tarvittaessa haastattelumateriaalia palvelun ruudunjakotoiminnon avulla kysymysten havainnollistamiseksi. Haastatteluaineisto on käsitelty nimettömästi ja haastatteluiden nauhoitukset on tuhottu tutkimuksen valmistumisen jälkeen.

Haastatteluiden aluksi haastateltavia pyydettiin omin sanoin arvioimaan tietämystään älykkäisiin rakennuksiin ja SRI-mittariin liittyen. Tämän jälkeen haastateltavien kanssa keskusteltiin SRI-mittarin ominaisuuksista ja sen soveltuvuudesta suunnittelun apuvälineeksi. Lopuksi haastateltavia pyydettiin arvioimaan älykkäiden järjestelmien toteuttami-

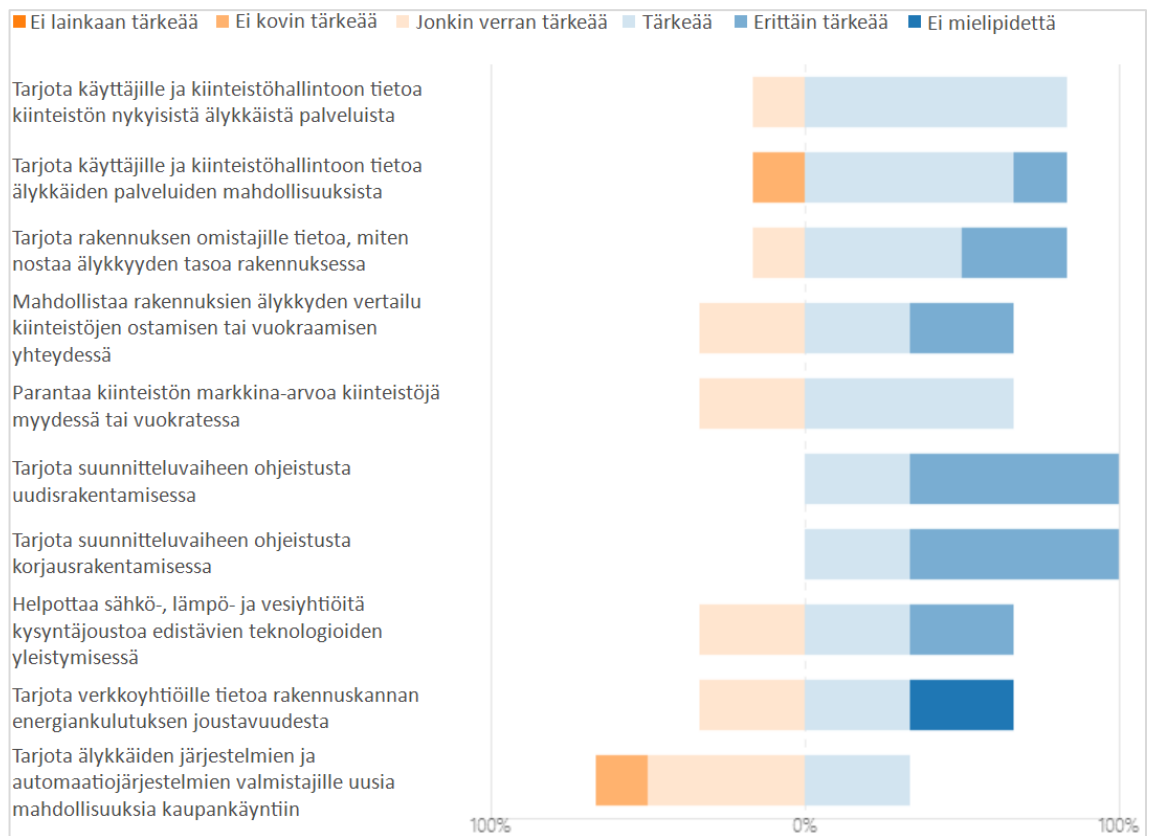
sen haasteita heidän näkökulmastaan ja arvioimaan SRI-mittarin käyttökelpoisuutta kyseisissä haasteissa. Lisäksi haastateltavilta kysyttiin tarkentavia kysymyksiä heidän vastauksiensa perusteella.

5. TUTKIMUKSEN TULOKSET

Tässä luvussa esitellään tutkimuksen empiirisen osan tulokset. Luvuissa 5.1 ja 5.2 esitellään tuloksia luvussa 4.1. esittelystä työpajasta. Lisäksi luvuissa 5.3 ja 5.4 esitellään Ruusupuiston SRI-mittauksen havainnot ja tulokset.

5.1 SRI-kysely

Työpajassa järjestettyyn SRI-kyselyyn saatiin kuusi vastausta eli kaikki osallistujat täyttivät kyselylomakkeen. Kyselyn tulokset ovat esitetty alla olevassa kuvassa 11.



Kuva 11. Työpajassa järjestetyn SRI-kyselyn tulokset SRI:n merkityksestä

SRI-mittarin tärkeimmäksi tehtäväksi kyselyssä nousi suunnitteluvaiheen ohjeistuksen tarjoaminen uudis- ja korjausrakentamisessa. Yhteensä neljän vastaajan mielestä tämä olisi erittäin tärkeää ja kahden vastaajan mielestä tärkeää. Kolmanneksi tärkeimpänä SRI-mittarin tehtävänä nähtiin tiedon tarjoaminen rakennuksen omistajille älykkyyden tason nostamisesta. Uusien kaupankäyntimahdollisuuksien tarjoaminen älykkäiden järjes-

telmien valmistajille nähtiin osallistujien keskuudessa vastausvaihtoehdoista vähiten tärkeänä tehtävänä. Kahdella vastaajalla ei ollut mielipidettä verkkoyhtiöille tarjottavan rakennuskannan energiankulutuksen joustavuustiedon tärkeydestä.

5.2 Älykkäät järjestelmät korjaushankkeessa

Hankkeen suunnitteluvaiheessa SRI-mittaria ajateltiin käytettävän suunnittelun apuvälineenä. Kun tarveselvityksen tai hankesuunnittelun aikana tehdään päätös tavoitella tiettyä älykkyyden tasoa, voidaan SRI-mittarin avulla arvioida sopivat toiminnalliset tasot palveluille halutulle tasolle pääsemiseksi. SRI:n palveluluettelon muokkaus korjaushankkeen yhdeksi tehtäväluetteloksi nähtiin kiinnostavana ratkaisuna. Tehtäväluetteloon pystyisi merkitsemään, mitkä toiminnalliset tasot toteutuvat normaaleilla suunnitteluratkaisuilla ja mitkä vaativat lisähuomiota. Tehtäväluetteloon merkittäisiin lisäksi kyseisen palvelun vastuuhenkilö sekä indikaattori tehtävän tilasta. Hyödyntämällä SRI-mittaria hankkeessa voidaan varmistaa, että rakennukseen tulee älykkäitä ratkaisuja. SRI ei kuitenkaan ota juurikaan kantaa rakennuksen tuottaman tiedon hyödyntämiseen esimerkiksi käyttäjäpalveluissa.

Älykkäiden järjestelmien toimivuuden ja yhteensopivuuden varmistamiseksi korjaushankkeeseen olisi hyvä valita älykoordinaattori. Älykoordinaattorin tehtäviin kuuluisi suunnitteluvaiheessa suunniteltavien järjestelmien yhteensopivuuden varmistaminen, rajapintavaatimuksien esittäminen muille suunnitteluosapuolille sekä antureiden sijainnin ja integraation suunnittelu. Lisäksi älykoordinaattori vastaisi tavoitellun älykkyyden tason saavuttamisesta omistajan tahtotilan mukaisesti. Älykoordinaattorista ei kuitenkaan haluttu täysin erillistä suunnitteluosapuolta, sillä muut osapuolet eivät välttämättä tällöin kantaisi vastuuta älykoordinaattorin kanssa sovituista asioista. Älykoordinoinnin ajateltiin sopivan esimerkiksi automaattiosuunnittelijan vastuulle.

Älykkäiden järjestelmien hankintaa pohdittiin toteutettavan myös tuoteosakauppana. Tällöin järjestelmien suunnitteluvastuu siirtyisi osittain järjestelmien toimittajalle (RT 10-11223 2016). Älykkäiden järjestelmien tuoteosakaupassa tilaaja määrittäisi järjestelmien vaatimukset ja tuoteosakaupan toimittaja vastaisi järjestelmien toteutussuunnittelusta, yhteensovittamisesta ja rakentamisesta. Tilaaja voisi siis esittää rakennukselle haluamansa älykkyyden tason sekä rajapintavaatimukset ja tuoteosakaupan toimittajalle jäisi tarkempi järjestelmätason suunnittelu. Pääsuunnittelijan vastuulle jää kuitenkin silloinkin eri suunnittelualojen koordinoituvastuu (RT 10-11223 2016).

Suunnitteluvaiheessa täytyy myös määritellä mitä dataa älykkäillä järjestelmillä halutaan kerätä ja mihin sitä kerätään, jotta sopivien teknisten järjestelmien valinta on mahdollista.

Datan määrittely on tehtävä huolella, jotta dataa pystytään keräämään vakioidusti eri rakennuksista samaan tietovarastoon. Kun dataa on kerätty yhteen paikkaan monista eri rakennuksista, on kyseistä dataa käyttäviä palveluita ja sovelluksia helpompi tehdä ja ottaa esimerkiksi valtakunnallisesti käyttöön. Kiinteistön omistajalla olisi siis hyvä olla strategia datan keräystä ja hyödyntämistä varten.

Älykkäät järjestelmät tulee korjaushankkeessa suunnitella ja toteuttaa käyttäjien tarpeet huomioiden. Luovutusvaiheessa käyttäjiä varten on hyvä tehdä käyttäjäoppaita älykkäiden järjestelmien käytöstä, jotta järjestelmien ominaisuudet saadaan täysimääräisesti hyödynnettyä. Koneoppimis- ja tekoälysovelluksien kehitys saattaa pitkällä aikavälillä vähentää käyttäjien tarvetta puuttua älykkäiden järjestelmien asetuksiin, mutta toistaiseksi käyttäjien tekemät muutokset ovat tärkeä osa koneoppimisjärjestelmien oppimisprosessia. Järjestelmien käyttöliittymät tulee suunnitella mahdollisimman yksinkertaisiksi. Esimerkiksi lämpötilansäädön käyttöliittymään riittäisivät vaihtoehdot liian kylmä ja liian kuuma.

Kiinteistöjen omistajilla ei usein ole tarpeeksi resursseja tai sopivaa osaamista käyttäjäpalveluiden rakentamiseen kiinteistössä tuotetun datan pohjalta. Datan avoin julkaisu voi houkutella kolmansia osapuolia hyödyntämään dataa ja rakentamaan sovelluksia, mutta julkistettavan datan turvallisuus täytyy varmistaa ennen julkaisua. Esimerkiksi käyttäjän anonymiteettiä vaarantavan tiedon käsittely tulee tehdä huolellisesti ja sitä ei sellaiseenaan tule julkaista avoimeksi.

Kiinteistön omistaja ei kuitenkaan välttämättä halua luovuttaa dataa ilmaiseksi avoimelle alustalle, sillä dataa pidetään arvokkaana resurssina. Dataa voisi vaihtoehtoisesti julkaista kolmannen osapuolen järjestämälle kauppapaikalle ja kiinteistön omistaja voisi tällöin saada tuloja datan myynnistä. Tällaista kauppapaikka kehittää esimerkiksi suomalainen Platform of Trust -yhtiö. (Platform of Trust 2019).

5.3 SRI-mittaus

Ruusupuiston SRI-mittaukseen valikoitui 43 mitattavaa palvelua eli SRI:n ensimmäisen tutkimuksen loppuraportin mukaisesta kevennetystä palveluluettelosta rajattiin lopulta 9 palvelua mittauksen ulkopuolelle. Mittauksen ulkopuolelle jätettiin vain palveluita, joiden teknistä järjestelmää ei oltu rakennettu jonkin korvaavan ratkaisun vuoksi. Esimerkiksi lämpimän käyttöveden tuotantoon liittyviä palveluita ei sisällytetty mittaukseen, koska järjestelmät olivat korvattu kaukolämmöllä. Palveluiden jättäminen mittauksen ulkopuolelle parantaa kyseisen luokan tulosta maksimipistemäärän laskiessa, joten palveluita rajattiin pois mahdollisimman vähän vertailukelpoisten tulosten saamiseksi.

Taulukoissa 5-14 on esitetty SRI-mittauksen palvelut ja niiden toiminnalliset tasot luokit-
tain. Ensimmäisessä sarakkeessa näkyy SRI:n ensimmäisen tutkimuksen palveluluette-
lon mukainen tunnus palveluille. Keskimmäisessä sarakkeessa on esitetty mitattavien
palveluiden nimi ja kolmannessa sarakkeessa näkyy mitattu toiminnallinen taso ja tason
enimmäismäärä. Toiminnallinen taso 3/4 tarkoittaa siis sitä, että mitattu toiminnallinen
taso on ollut 3 ja tason enimmäismäärä 4. Mittauksen ulkopuolelle jätettyjen palveluiden
toiminnalliseksi tasoksi on taulukoihin merkitty 0/0. Palveluiden nimet ovat suomennettu
diplomityön kirjoittajan toimesta ja voivat siis erota mahdollisista myöhemmistä viralli-
sista suomennoksista.

Luokassa lämmitys arvioitiin kahdeksalle palvelulle toiminnallinen taso. Palvelut tunnuksilla Heating-1b, Heating-2b ja Heating-2c jätettiin arvioinnin ulkopuolelle, koska kyseisiä järjestelmiä ei ollut rakennuksessa olemassa. Ruusupuiston lämmitysjärjestelmänä oli kaukolämpö eikä muita järjestelmiä lämmöntuotantoon ollut.

Taulukko 5. Tutkimuskohteen toiminnalliset tasot luokassa lämmitys

Palvelun tunnus	Palvelu	Toiminnallinen taso
Heating-1a	Lämmönluovutusjärjestelmän säätö	3/4
Heating-1b	Rakennusosiin sitoutuvan lämpöenergian säätö (TABS, lämmitys)	0/0
Heating-1c	Kiertoverkoston nesteen lämpötilan säätö	2/2
Heating-1d	Kiertopumppujen säätö verkostossa	4/4
Heating-1e	Jaksottainen lämmönluovutuksen ja/tai vesikierron säätö	3/3
Heating-1f	Lämpöenergian varastointi rakennuksen lämmitykseen	2/2
Heating-1g	Rakennuksen esilämmityksen hallinta	1/2
Heating-2a	Lämmöntuotannon ohjaus (polttokattila / kaukolämpö)	1/2
Heating-2b	Lämmöntuotannon ohjaus (lämpöpumput)	0/0
Heating-2c	Eri lämmöntuottolaitteiden käyttöjärjestys	0/0
Heating-3	Raportointi lämmitysjärjestelmien toiminnasta	2/4

Lämpimän käyttöveden osalta peräti kolme luokan neljästä palvelusta jätettiin mittauksen ulkopuolelle. Luokan palvelut liittyivät pääosin lämpimän käyttöveden tuotantoon ja

kaukolämmön käytön vuoksi rakennuksessa itsessään ei tuotettu lämmintä käyttövedtä. Lämpimän käyttöveden käytöstä oli kuitenkin mahdollista saada kulutustietoja, joten viimeiselle palvelulle saatiin toiminnallinen taso arvioitua.

Taulukko 6. Tutkimuskohteen toiminnalliset tasot luokassa lämmin käyttövesi

Palvelun tunnus	Palvelu	Toiminnallinen taso
DHW-1a	Lämminvesivaraajan lämmityksen säätö (sähköllä tai sähkökäyttöisellä lämpöpumpulla)	0/0
DHW-1b	Lämminvesivaraajan lämmityksen säätö (lämmönkehitin)	0/0
DHW-1d	Lämminvesivaraajan lämmityksen säätö (aurinkolämpö)	0/0
DHW-3	Raportointi lämpimän käyttöveden toiminnasta	2/4

Luokassa jäähdytys arvioitiin kahdeksaa palvelua ja 2 palvelua jätettiin arvioinnin ulkopuolelle. Ulkopuolelle jätetyt palvelut liittyivät jäähdytysenergian varastointiin ja varastointia ei ollut Ruusupuistossa toteutettu.

Taulukko 7. Tutkimuskohteen toiminnalliset tasot luokassa jäähdytys

Palvelun tunnus	Palvelu	Toiminnallinen taso
Cooling-1a	Jäähdytysjärjestelmän säätö	3/4
Cooling -1b	Rakennusosiin sitoutuvan jäähdytysenergian säätö (TABS, jäähdytys)	0/0
Cooling -1c	Jäähdytysjärjestelmän jakeluverkoston lämpötilan säätö (meno tai paluu)	2/2
Cooling -1d	Kiertopumppujen säätö verkostossa	3/4
Cooling -1e	Jäähdytyksen jaksottainen säätö	2/3
Cooling -1f	Lämmityksen ja jäähdytyksen lämmönluvutusten ja/tai lämmönjakelun säädön välinen kytkentä	2/2
Cooling -1g	Jäähdytysenergian varastoinnin säätö	0/0
Cooling -2a	Tuottolaitteiden säätö (jäähdytys)	2/2
Cooling -2b	Eri tuottolaitteiden käyttöjärjestys	2/3
Cooling-3	Raportointi jäähdytysjärjestelmien toiminnasta	1/4

Luokassa ilmanvaihto arvioitiin kaikki tiivistetyn palveluluettelon mukaiset palvelut. Palveluita oli yhteensä kahdeksan kappaletta.

Taulukko 8. Tutkimuskohteen toiminnalliset tasot luokassa ilmanvaihto

Palvelun tunnus	Palvelu	Toiminnallinen taso
Ventilation-1a	Tuloilmavirran säätö huonetasolla	1/3
Ventilation-1b	Tulo- ja poistoilman suhteen säätö	0/3
Ventilation-1c	Ilmankäsittelykoneen ilmavirran säätö	4/4
Ventilation-2a	Huoneen lämpötilan säätö (ilmanvaihdolla)	1/2
Ventilation-2c	Lämmöntalteenotto: yllämpenemisen säätö	1/2
Ventilation-2d	Tuloilman lämpötilan säätö	3/3
Ventilation-3	Vapaajäähdytys/yöjäähdytys puhallinavusteisesti	3/3
Ventilation-6	Raportointi sisäilman laadusta	2/3

Luokassa valaistus arvioitiin molemmat palvelut. Rakennuksessa ei ollut toteutettu valaistuksen automaattista himmenemistä tai sammumista päivänvalon määrän mukaan, joten kyseisen palvelun toiminnallinen taso jäi alhaiseksi.

Taulukko 9. Tutkimuskohteen toiminnalliset tasot luokassa valaistus

Palvelun tunnus	Palvelu	Toiminnallinen taso
Lighting-1a	Läsnäolo-ohjattu säätö valaistukselle	2/3
Lighting-2	Valaistuksen säätö päivänvalon mukaan	1/4

Rakennuksen dynaamisen vaipan osalta arvioitiin molemmat luokan palvelut, mutta molemmat palvelut saivat toiminnalliseksi tasoksi tason 0. Rakennuksen ikkunoiden kaihtimissa ei ollut automaattista säätöä eikä ikkunoiden aukiolosta ollut tiedonvälitystä taloteknisiin järjestelmiin.

Taulukko 10. Tutkimuskohteen toiminnalliset tasot luokassa dynaaminen vaippa

Palvelun tunnus	Palvelu	Toiminnallinen taso
DE-1	Ikkunoiden varjostimien säätö	0/4

DE-2	Ikkunoiden aukiolon säätö ja liittyminen taloteknisiin järjestelmiin	0/3
------	--	-----

Luokassa energian tuotto arvioitiin kolme palvelua. Palvelu lämmön ja sähkön yhteistuotannon säätö jätettiin mittauksen ulkopuolelle, koska rakennuksessa ei ollut lämmön ja sähkön yhteistuotantoa. Ruusupuistossa tuotettiin aurinkosähköä, mutta energiaa ei varastoitu tai sen käyttöä optimoitu. Energiantuotanto oli vähäistä suhteessa rakennuksen energiankulutukseen, jolloin kaikki tuotettu energia saatiin kulutettua ilman varastointia. Aurinkosähkön tuotannosta oli saatavilla raportointia tuotantomääristä ja niitä pystyi tarkastelemaan avoimen internet-sivun kautta.

Taulukko 11. Tutkimuskohteen toiminnalliset tasot luokassa energian tuotto

Palvelun tunnus	Palvelu	Toiminnallinen taso
EG-2	Energiantuotannon raportointi	2/4
EG-3	Paikan päällä tuotetun energian varastointi	0/3
EG-4	Paikan päällä tuotetun energian käytön optimointi	0/2
EG-5	Lämmön ja sähkön yhteistuotannon säätö	0/0

Luokassa tehontarpeen säätö arvioitiin kaikki neljä palvelua. Ruusupuistossa ei kuitenkaan ollut käytössä järjestelmiä energiankulutuksen kysyntäjoustoon, joten kaikki palvelut arvioitiin toiminnalliselle tasolle 0. Sähkön kysyntäjoustolla olisi mahdollista siirtää osa kulutuksesta hetkiin, jolloin sähköstä on sähköverkossa ylitarjontaa ja se on näin ollen edullisempaa.

Taulukko 12. Tutkimuskohteen toiminnalliset tasot luokassa tehontarpeen säätö

Palvelun tunnus	Palvelu	Toiminnallinen taso
DSM-18	Integrointi älykkäisiin sähköverkkoihin	0/1
DSM-19	Rakennuksen laitteiden tuki energian kysyntäjoustolle	0/4
DSM-21	Energian kysyntäjoustop raportointi	0/2
DSM-22	Energian kysyntäjoustop ohituksen säätö	0/4

Sähköajoneuvojen lataus -luokassa arvioitiin kaikki luokan kolme palvelua. Ruusupuiston pysäköintihallissa oli neljälle sähköajoneuville latausvalmius. Latauspisteissä ei kuitenkaan ollut joustoa sähköverkon suuntaan eikä latauksen tilan seuraamiseen ollut järjestelmiä.

Taulukko 13. Tutkimuskohteen toiminnalliset tasot luokassa sähköajoneuvojen lataus

Palvelun tunnus	Palvelu	Toiminnallinen taso
EV-15	Sähköajoneuvojen latauspisteiden kapasiteetti	1/3
EV-16	Sähköajoneuvojen lataus – jousto sähköverkkoon	0/2
EV-17	Sähköajoneuvojen latauksen tiedotus ja liitännät	0/2

Luokassa seuranta ja säätö arvioitiin kaikki neljä palvelua. Rakennuksen taloteknisistä järjestelmistä oli saatavilla tietoa, mutta keskitettyä reaaliaikaista paikkaa niiden seuraamiseen ei ollut.

Taulukko 14. Tutkimuskohteen toiminnalliset tasot luokassa seuranta ja säätö

Palvelun tunnus	Palvelu	Toiminnallinen taso
MC-3	Lämmitys-, ilmanvaihto- ja ilmastointijärjestelmien käyttöaikojen hallinta	2/3
MC-4	Teknisten järjestelmien viantunnistus ja tuki diagnoosiin	2/2
MC-9	Läsnäolotunnistus – järjestelmien linkitys	1/2
MC-13	Rakennusten teknisten järjestelmien toiminnan ja energiankulutuksen keskitetty raportointi	0/3

SRI-mittauksen suoritus koettiin loogiseksi ja suoraviivaiseksi. Osa palveluluettelon palveluista tai niiden toiminnallisista tasoista oli kuitenkin vieraita mittaustilanteen osallistujille ja toiminnallisten tasojen arvioinnissa voi tästä syystä olla pieniä virheitä. Mittarin lopullisen julkaisun jälkeen palveluluettelon vakiintuessa ja ammattimaisen tarkastajan suorittamana mittausprosessi selkiytynee entisestään.

5.4 SRI-mittauksen tulokset

SRI-mittauksen tulokset palveluiden luokittain ovat esitetty taulukossa 15. Tutkimuksen suoritushetkellä SRI-mittauksen lopullista pisteytysjärjestelmää ei ole vielä julkistettu, joten luokille on laskettu pistemäärä jakamalla luokittain mitattujen toiminnallisten tasojen summa toiminnallisten tasojen maksimisummalla. Tämä ei ole kuitenkaan SRI-mittarin lopullinen laskentatapa, vaan palveluista on tarkoitus jakaa pisteitä toiminnallisen tason perusteella luvun 2.2.1 mukaisesti eri vaikuttavuusluokkiin. Laskemalla mitatut toiminnalliset tasot yhteen saadaan kuitenkin palveluluettelon palveluita ja toiminnallisia tasoja arvioitua suhteessa nykyiseen rakentamiseen.

Taulukko 15. SRI-mittauksen tulokset luokittain tutkimuskohteessa

Luokka	Mitattujen palveluiden lukumäärä	Mittauksen ulkopuolelle jätettyjen palveluiden määrä	Mitattu toiminnallinen taso (summa)	Toiminnallisten tasojen enimmäismäärä (summa)	Luokan pisteet
Lämmitys	8	3	18	23	78,3 %
Lämmin käyttövesi	1	3	2	4	50,0 %
Jäähdytys	8	2	17	24	70,8 %
Ilmanvaihto	8	0	15	23	65,2 %
Valaistus	2	0	3	7	42,9 %
Dynaaminen vaippa	2	0	0	7	0,0 %
Energian tuotto	3	1	2	9	22,2 %
Tehontarpeen säätö	4	0	0	11	0,0 %
Sähköajoneuvojen lataus	3	0	1	7	14,3 %
Seuranta ja säätö	4	0	5	10	50,0 %
Yhteensä	43	9	63	125	50,4 %

Ruusupuisto sai mittauksessa 43 palvelun osalta toiminnallisten tasojen summaksi 63 eli 50,4 prosenttia enimmäismäärästä. Teknisistä luokista parhaimmat pisteet saivat läm-

mitys, jäähdytys ja ilmanvaihto. Luokat dynaaminen vaippa, tehontarpeen säätö, energian tuotto sekä sähköajoneuvojen lataus taas selvästi pienensivät mittauksen tulosta. Luokissa lämmitys, jäähdytys ja ilmanvaihto on muita luokkia enemmän palveluita, jolloin kyseisten luokkien painoarvo yhteistuloksessa on suurempi. Mikäli yhteistulos laskettaisiin keskiarvona luokkien pisteistä, olisi yhteistulos 39,4 prosenttia.

6. TUTKIMUSTULOSTEN ANALYSOINTI

Tässä luvussa on analysoitu tutkimuksessa saatuja tuloksia. Analysointi on jaettu kolmeen eri alalukuun. Luvussa 6.1 arvioidaan SRI-mittarin soveltuvuutta kampusrakennuksen älykkyyden mittaukseen. Luvussa 6.2 pohditaan, miten korjaushankkeen yhteydessä voitaisiin parantaa mahdollisuuksia kampuksen älykkäiden käyttäjäpalveluiden kehittämiseksi. Luvussa 6.3 käsitellään tutkimuksen aikana havaittuja älykkäiden järjestelmien toteuttamisen haasteita korjaushankkeessa sekä arvioidaan SRI-mittarin käyttökelpoisuutta apuvälineenä kyseisten haasteiden ratkaisemisessa.

6.1 SRI-mittari kampusrakennuksen älykkyyden mittauksessa

Suomessa viileä ilmasto on jo ohjannut rakentamista ottamaan käyttöön energiaa säästäviä älykkäitä ratkaisuja etenkin lämmityksen ja ilmanvaihdon osalta. Tämä näkyi Ruusu-
supuisto-rakennuksen SRI-mittauksessa korkeina pisteinä kyseisissä luokissa. Ruusu-
puiston rakentamisessa on kiinnitetty erityishuomiota energiatehokkuuteen, jonka vuoksi
myös jäädytyksen osalta SRI-mittauksen pisteet olivat korkeat. Kokonaisenergiankulu-
tukseen mahdollisesti vähemmän vaikuttavissa luokissa, kuten tehontarpeen säätö, säh-
köajoneuvojen lataus ja dynaaminen vaippa, tutkimuskohteen pisteet olivat taasen pie-
nemät.

Tutkimuksen aikana järjestetyssä työpajassa havaittiin SRI-mittarin herättävän kiinnos-
tusta kiinteistöjen omistajan organisaatiossa etenkin suunnitteluvaiheen apuvälineenä.
Haastatteluissa SRI-mittarin arvioitiin olevan hyödyllinen suunnittelun apuväline (Haas-
tattelu 1). SRI-mittarin painopiste on kuitenkin selkeästi rakennuksen energiatehokkuu-
den parantamisessa, eikä sen ajateltu sopivan ainoaksi suunnittelutyökaluksi älykkäiden
rakennusten suunnittelussa (Haastattelu 1; Haastattelu 2).

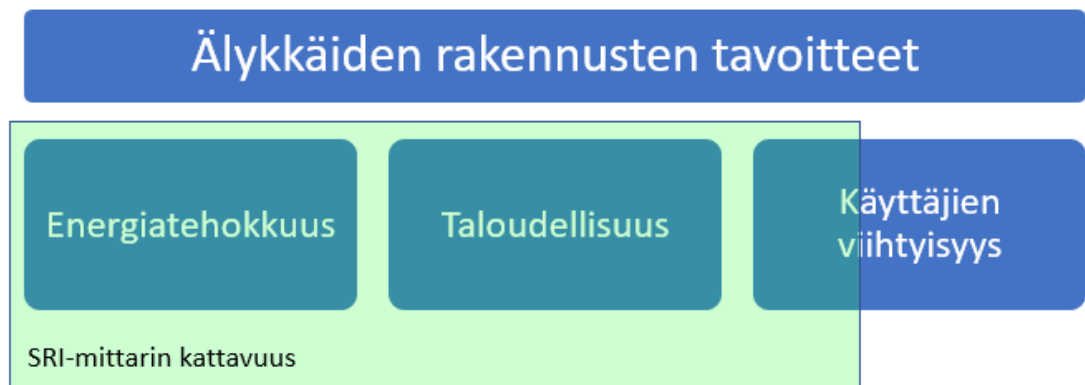
Ruusupuiston SRI-mittauksen perusteella energiatehokkaassa rakennuksessa voi jo ny-
kyisellään olla SRI-mittarissa korkeita pisteitä tuovia älykkäitä järjestelmiä. Ilman katta-
vampaa analyysia on kuitenkin vielä epävarmaa, millainen korrelaatio SRI-mittauksen
tuloksen ja rakennuksen energiankulutuksen välillä on.

SRI-mittaria ei ole ainakaan suoraan ajateltu kehitettävän korvaajaksi nykyisille ympä-
ristösertifiointijärjestelmille, kuten BREEAM ja LEED -järjestelmille, sillä SRI-mittaus voi-
daan tehdä näiden rinnalla toisiaan täydentävänä menetelmänä (Verbeke et al. 2019).
Sertifiointijärjestelmien mahdollisesti vaatimat tarkastuskäynnit olisi mahdollista sovittaa
aikatauluihin SRI-mittauksen kanssa tai jopa suorittaa saman ulkopuolisen tarkastajan

toimesta. Näin SRI-mittaus ei sitoisi juurikaan lisää resursseja korjaushankkeeseen ryhtyvältä BREEAM tai LEED -sertifioinnin ohella ja olisi mahdollista saada pienellä vaivalla kattavampi arvio rakennuksen ominaisuuksista. Erilaisten kiinteistösertifikaattien ja -mittareiden paljous voi vähentää SRI-mittarin kiinnostavuutta kiinteistöjen omistajien keskuudessa (Haastattelu 1). Osaa kiinteistöjen omistajista voi kuitenkin kiinnostaa SRI-mittarin käyttö ympäristösertifikaattien ohella täydentävänä mittarina (Haastattelu 2).

Suurin osa SRI-mittarin tiivistetyn palveluluettelon palveluista liittyvät rakennuksen energiankulutuksen pienentämiseen. Mittari ei juurikaan ota kantaa rakennuksen loppukäyttäjille suunnattuihin käyttäjäpalveluihin (Haastattelu 1; Haastattelu 2). Kiinteistöjen käyttäjille hyödylliset käyttäjäpalvelut ovat hyvin tapauskohtaisia ja niiden arviointi mittarilla olisi todella vaikeaa (Haastattelu 1). Käyttäjille suunnattujen palveluiden mahdollistamiseksi tulee älykkäälle kampukselle suunnitella erikseen toimintatavat datan keräykseen ja säilytykseen.

SRI-mittarin kattavuutta suhteessa älykkäiden rakennusten tavoitteisiin on havainnollistettu alla olevassa kuvassa 12. Indikaattorin pisteytyksessä otetaan käyttäjien viihtyisyys ja rakennusten käyttömukavuus huomioon, mutta indikaattori kuitenkin keskittyy hyvin vahvasti energiatehokkuuden parantamiseen ja sitä kautta taloudellisuuteen. Käyttäjien ja käyttäjäpalveluiden vähäistä huomioimista voidaan pitää yhtenä SRI-mittarin heikkoutena (Haastattelu 1).



Kuva 12. SRI-mittarin kattavuus suhteessa älykkäiden rakennusten tavoitteisiin

6.2 Käyttäjäpalveluiden mahdollistaminen

Käyttäjien viihtyisyys on yksi älykkäiden rakennuksien keskeisimmistä tavoitteista. Kampuksen korjaushankkeessa ei tule siis unohtaa käyttäjille suunnattujen palveluiden rakentamisen mahdollistamista. Käyttäjäpalveluiden mahdollistamiseksi täytyisi korjaushankkeessa ottaa etenkin uusien taloteknisten järjestelmien osalta huomioon, mitä dataa

laitteet keräävät ja miten kerätty data on hyödynnettävissä. Kiinteistön omistajan tekemän datastrategian perusteella voitaisiin suoraan saada tarvittavat määrittelyt datan keräystä varten korjaushankkeeseen. Datan säilytys on tärkeää järjestää niin, että samalla palvelulla voidaan helposti hyödynnettyä useamman eri rakennuksen dataa. Näin älykkäiden palveluiden kehitys- ja ylläpitokuluja saadaan jaettua useamman rakennuksen kesken. Käyttäjäpalveluiden kehittämistä voidaan helpottaa julkaisemalla rakennuksen dataa ilmaiseksi avoimien rajapintojen kautta, jolloin kynnys erilaisille kokeiluille madaltuu. Vaihtoehtoisesti erilaisilla data-alustoilla voidaan datasta saada jopa tuloja.

Perinteisesti rakennushankkeiden suunnittelu tehdään siilomaisesti sovittujen tehtäväluetteloiden mukaisesti, jolloin eri suunnitteluosapuolien valitsemien järjestelmien yhteensopivuudesta ei ole täyttä varmuutta. Erilaisten älykkäiden järjestelmien yhteensopivuus voitaisiin suunnitteluvaiheessa varmistaa antamalla jollekin suunnitteluryhmän osapuolelle vastuu älykkäiden järjestelmien suunnittelun koordinoinnista. Älykoordinointi voitaisiin sisällyttää esimerkiksi rakennusautomaatiosuunnittelijan vastuulle, mutta automaatiosuunnittelijalla täytyisi tällöin olla riittävä tietotaito älykkäiden järjestelmien suunnittelusta. (Haastattelu 2).

6.3 Älykkäiden järjestelmien toteuttamisen haasteet kampuskiinteistön korjaushankkeessa eri toimijoiden näkökulmasta

Korjausprojektin kehitysvaiheessa kiinteistön omistajalla on haasteena projektin eri vaihtoehtojen arviointi. Kiinteistössä sijaitsevat toiminnot ovat voineet ajan saatossa muuttua merkittävästi, jolloin tarve tilajärjestelyiden muutoksille kasvaa. Yhteenlaskettuna muiden uudistustarpeiden kanssa voikin olla kannattavampaa korvata rakennus uudella korjauksen sijaan. Omistajalla voi olla taloudellisen kannattavuuden lisäksi myös erilaisia laatuvaatimuksia kiinteistöilleen esimerkiksi ympäristövaikutusten osalta, jotka vaikuttavat vaihtoehtojen arviointiin.

Kehitysvaiheessa kiinteistön omistajalla tulisi myös olla strategia valmiina datan hyödyntämiseen, mutta haasteena datastrategian luonnissa voi olla riittävän asiantuntemuksen varmistaminen strategian luomiseksi. Datastrategian laatimisessa täytyisi olla riittävä tietotaito datan käsittelystä sekä samalla hyvä käsitys yrityksen liiketoiminnasta (Fleckenstein & Fellows 2018). Datastrategian avulla projektiin saadaan arvokkaita lähtötietoja järjestelmien ja laitteiden valinnan tueksi.

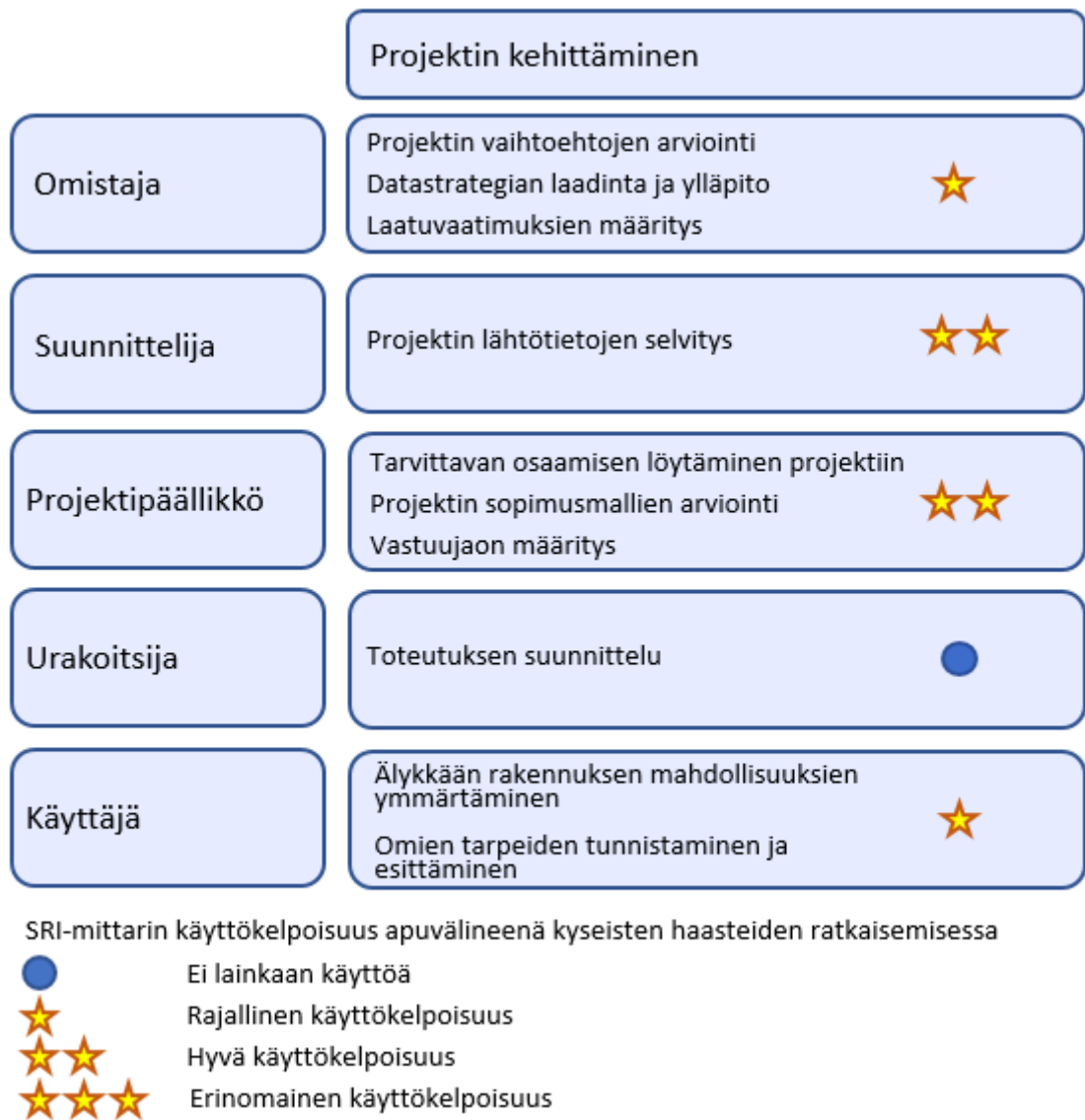
Suurimpana haasteena suunnittelijoille projektin kehitysvaiheessa on tarvittavien lähtötietojen saaminen. Korjaushankkeessa lähtötiedoista löytyy usein puutteita tai tiedoissa

voi olla jopa virheitä. Älykkäiden järjestelmien suunnittelun osalta täytyy arvioida nykyisten teknisten järjestelmien uusimistarve.

Projektipäällikön haasteena projektin kehitysvaiheessa on tarvittavan osaamisen löytäminen projektin toteutusta varten. Projektin osapuolilla täytyisi olla riittävä ymmärrys älykkäistä järjestelmistä, jotta järjestelmät saadaan toteutettua onnistuneesti. Lisäksi projektipäällikön haasteena on projektin sopimusmallien valinta sekä tehtävien vastuun määrittäminen. Projektipäällikön täytyy esimerkiksi pohtia mahdollisen älykoordinaattorin tarvetta ja roolia projektiorganisaatiossa.

Kampuskiinteistön korjaus toteutetaan kiinteistön käyttäjiä varten. Haasteena käyttäjien näkökulmasta on kuitenkin omien tarpeiden tunnistaminen ja niiden esittäminen projektiorganisaatiolle. Jotta käyttäjien toiveet saataisiin tietoon, on hyvä järjestää erilaisia osallistavia tilaisuuksia käyttäjille korjaushankkeeseen liittyen. Jos rakennuksien älykkäät ratkaisut eivät ole ennalta tuttuja käyttäjille, voi käyttäjien olla myös haastava ymmärtää rakennuksen älykkyyden tuomia mahdollisuuksia. SRI-mittarin palveluluettelosta voi olla käyttäjille apua mahdollisuuksien ymmärtämiseen. Joissain tapauksissa tilojen tarkkaa loppukäyttäjää ei kuitenkaan vielä tiedetä, jolloin älykkäistä ratkaisuista on hyvä tehdä mahdollisimman joustavia.

Alla olevaan kuvaan 13 on koottu korjausprojektin kehittämisen aikaisia haasteita älykkäiden järjestelmien toteutuksessa. Kuvaan on myös arvioitu tähtiasteikolla SRI-mittarin käyttökelpoisuutta eri toimijoiden apuvälineeksi kyseisessä projektin vaiheessa. Asteikossa kolme tähteä kuvaa SRI-mittarin erinomaista käyttökelpoisuutta. Tähtien puuttuminen taas kuvaa sitä, että SRI-mittarilla ei arvioitu olevan käyttöä kyseisellä toimijalla projektin kehitysvaiheessa. Asteikko on esitetty kuvan 13 alareunassa.



Kuva 13. Älykkäiden järjestelmien toteuttamisen haasteet projektin kehitysvaiheessa sekä SRI-mittarin käyttökelpoisuus apuvälineenä haasteiden ratkaisemisessa

Projektin toteutusvaiheessa omistajan haasteena on päättää lopulliset tavoitteet korjaushankkeelle. Lisäksi omistaja tekee valinnan vaihtoehtoisista suunnitelmista. Korjaushankkeen tavoitteet ja valinnat rakennuksen älykkyyden osalta tulee pohjautua omistajan datastrategiaan.

Projektin toteutuksen aikana suunnittelijoiden haasteena on älykkäiden ratkaisuiden toteutussuunnittelu niin, että rakennuksen vaaditut ominaisuudet täyttyvät ja suunnitteluratkaisut ovat yhteensopivia muiden suunnitteluosapuolien kanssa. Korjaushankkeissa olemassa olevat rakenteet aiheuttavat uudisrakentamista enemmän rajoitteita älykkäiden ratkaisuiden suunnitteluun. Rajoitteiden vuoksi ratkaisussa joudutaan tasapainoilemaan eri ratkaisuiden hyvien ja huonojen puolien välillä (Pal & Purushothaman 2016).

Esimerkiksi langattomuus tuo vapautta laitteiden sijaintiin, mutta rajoittaa laitteiden virrankulutusta. Koska korjaushankkeessa suunnittelun lähtötiedot ovat myös välillä puutteellisia, joudutaan projektin toteutuksen aikana tehtyjä suunnitelmia usein täydentämään tai muuttamaan.

Projektin toteutusvaiheessa projektipäällikön haasteena on projektin osapuolten yhteistyön varmistaminen. Esimerkiksi mahdolliset korjaushankkeen aikana tulevat suunnitelmamuutokset täytyisi saada kaikille osapuolille selväksi. Projektipäälliköllä tulee lisäksi olla riittävä asiantuntemus älykkäistä ratkaisuksista eri suunnitelmavaihtoehtojen arvioimiseksi.





Urakoitsijan näkökulmasta haasteena korjaushankkeen toteutusvaiheessa on älykkäiden ratkaisuiden toteutus. IoT-tekniikan kehittyessä laitemallit ja ratkaisut muuttuvat jatkuvasti, jonka vuoksi asentamiseen ei välttämättä ehdi muodostua vakiintuneita käytäntöjä. Rakentamisen arvoketjujen pirstaloituneisuuden hidastaa myös uusien käytäntöjen jalkautusta (Haastattelu 2). Mahdolliset yllätykset projektin aikana voivat lisäksi aiheuttaa viivästyksiä ja aikataulumuutoksia rakentamiselle, jos suunnitelmiin joudutaan tekemään muutoksia.

Projektin toteutusvaiheessa käyttäjillä on viimeinen hetki esittää omia tarpeitaan älykkäiden järjestelmien suunnittelun lähtökohdaksi. Hyvin rakennetun data-alustan avulla varsinaisia älykkäitä palveluita voidaan kehittää vielä projektin jälkeenkin, mutta kerättävän datan ominaisuudet täytyisi toteutusvaiheessa olla viimeistään selvillä.

Kuvassa 14 on esitetty älykkäiden järjestelmien toteuttamisen haasteita projektin toteutusvaiheessa. Aikaisemman kuvan 13 tavoin kuvaan on myös arvioitu SRI-mittarin soveltuvuus apuvälineeksi eri toimijoille. Projektin toteutuksessa SRI-mittarin käyttökelpoisuus on arvioitu erinomaiseksi suunnittelijoilla ja projektipäälliköllä. SRI-mittaria voi projektin toteutuksessa hyödyntää erityisesti suunnitelmien laadinnassa ja suunnitelmavaihtoehtojen arvioinnissa.

Projektin toteutus		
Omistaja	Projektin tavoitteiden asettaminen Suunnitelmien valinta	★★
Suunnittelija	Suunnitelmien laadinta ja yhteensopivuuden varmistus Suunnitelmamuutoksien hallinta	★★★
Projektipäällikkö	Suunnitelmavaihtoehtojen arviointi Yhteistyön koordinointi	★★★
Urakoitsija	Älykkäiden ratkaisuiden toteutus Korjaushankkeen yllätyksien hallinta Uusien käytäntöjen vakiointi	★★
Käyttäjä	Omien tarpeiden tunnistaminen ja esittäminen	★

SRI-mittarin käyttökelpoisuus apuvälineenä kyseisten haasteiden ratkaisemisessa

-  Ei lainkaan käyttöä
-  Rajallinen käyttökelpoisuus
-  Hyvä käyttökelpoisuus
-  Erinomainen käyttökelpoisuus

Kuva 14. Älykkäiden järjestelmien toteuttamisen haasteet projektin toteutusvaiheessa sekä SRI-mittarin käyttökelpoisuus apuvälineenä haasteiden ratkaisemisessa

Kiinteistöjen omistajat haluavat suunnittelemansa investoinnin tuottavan arvoa, jolloin omistajalla on älykkäiden järjestelmien osalta haasteena älykkäiden järjestelmien ja palveluiden tuottaman arvon mittaaminen (Haastattelu 1). SRI-mittarilla voidaan korjaushankkeen jälkeen todeta rakennuksen älykkyystason nousu korjaushankkeen myötä (Haastattelu 1). On kuitenkin vielä epävarmaa, tuoko SRI-mittarin tulos itsessään lisäarvoa rakennukselle (Haastattelu 2).

Projektin toteutuksen päättyessä projektipäällikön ja urakoitsijan haasteeksi jää palautteen kerääminen projektin onnistumisesta ja palautteen hyödyntäminen seuraavissa projekteissa. Onnistuneita asioita tulisi projektin jälkeen vakiinnuttaa toteutusprosesseihin ja mahdollisten epäonnistumisten osalta selvittää tarkasti, miten toteutus kannattaisi tehdä seuraavalla kerralla. Näin vältetään samojen virheiden toistuminen seuraavissa projekteissa.

Projektin jälkivaiheessa käyttäjien täytyisi oppia käyttämään kiinteistöön rakennettuja älykkäitä järjestelmiä, jotta järjestelmistä saisi täyden hyödyn irti. Käytön opettelua voi auttaa esimerkiksi käyttöohjeiden teolla tai koulutuksien järjestämisellä. Optimaalisessa tilanteessa järjestelmistä on tehty niin käyttäjäystävällisiä, että käyttö onnistuu uusilta käyttäjiltä ilman opastustakin.

Kuvaan 15 on koottu älykkäiden järjestelmien toteuttamisen haasteita projektin toteutusvaiheen päättyessä. SRI-mittari on parhaimmillaan projektin suunnitteluvaiheessa, mutta sitä voidaan kuitenkin projektin lopussa omistajan ja suunnittelijan näkökulmasta käyttää rakennuksen projektin jälkeisen älykkyystason arviointiin. Kuvien 13 ja 14 tavoin kuvaan on myös arvioitu SRI-mittarin käyttökelpoisuutta asteikolla 0 – 3 tähteä.

Projektin päättäminen		
Omistaja	Älykkäiden järjestelmien käyttöönotto ja perehdytys Älykkyystason tuoman arvon arviointi	★★★
Suunnittelija	Suunnitellun älykkyystason toteutumisen arviointi	★★★
Projektipäällikkö	Projektin onnistumisen arviointi	★
Urakoitsija	Toteutuksen onnistumisen arviointi	★
Käyttäjä	Älykkäiden järjestelmien käytön opettelu Älykkäiden järjestelmien hyödyntäminen	●

SRI-mittarin käyttökelpoisuus apuvälineenä kyseisten haasteiden ratkaisemisessa

- Ei lainkaan käyttöä
- ★ Rajallinen käyttökelpoisuus
- ★★ Hyvä käyttökelpoisuus
- ★★★ Erinomainen käyttökelpoisuus

Kuva 15. Älykkäiden järjestelmien toteuttamisen haasteet projektin päättyessä sekä SRI-mittarin käyttökelpoisuus apuvälineenä haasteiden ratkaisemisessa

Tässä luvussa esitetyt älykkäiden järjestelmien toteuttamisen haasteet korjaushankkeen eri vaiheissa sekä SRI-mittarin käyttökelpoisuus apuvälineenä kyseisten haasteiden ratkaisemiseksi ovat esitetty kootusti kuvassa 16.

	Projektin kehittäminen	Projektin toteutus	Projektin päättäminen
Omistaja	Projektin vaihtoehtojen arviointi Datastrategian laadinta ja ylläpito Laatuvaatimusten määrittäminen ★	Projektin tavoitteiden asettaminen Suunnitelmien valinta ★★	Älykkäiden järjestelmien käyttöönotto ja käytön perehdytys Älykkyydennäköisyyden tuoman arvon arviointi ★★
Suunnittelija	Projektin lähtötietojen selvitys ★★	Suunnitelmien laadinta ja yhteensopivuuden varmistaminen Suunnitelmanmuutosten hallinta ★★★★	Suunnitellun älykkyydennäköisyyden toteutumisen arviointi ★★
Projektipäällikkö	Tarvittavan osaamisen löytäminen projektiin Projektin sopimusmallien arviointi Vastuujaon määrittäminen ★★	Suunnitelmavaihtoehtojen arviointi Yhteistyön koordinoiminen ★★★★	Projektin onnistumisen arviointi ★
Urakoitsija	Toteutuksen suunnittelu ●	Älykkäiden ratkaisuiden toteutus Korjaushankkeen yllätyksien hallinta Käytäntöjen vakioiminen ★★	Toteutuksen onnistumisen arviointi ★
Käyttäjä	Älykkään rakennuksen mahdollisuuksien ymmärtäminen Omien tarpeiden tunnistaminen ja esittäminen ★	Omien tarpeiden tunnistaminen ja esittäminen ★	Älykkäiden järjestelmien käytön opettelu Älykkäiden järjestelmien hyödyntäminen ●

SRI-mittarin käyttökelpoisuus apuvälineenä kyseisten haasteiden ratkaisemisessa

● Ei lainkaan käyttöä

★ Rajallinen käyttökelpoisuus

★★ Hyvä käyttökelpoisuus

★★★★ Erinomainen käyttökelpoisuus

Kuva 16. Älykkäiden järjestelmien toteuttamisen haasteet korjaushankkeen eri vaiheissa sekä SRI-mittarin käyttökelpoisuus apuvälineenä kyseisten haasteiden ratkaisemisessa

Yhteenvedon kuvasta nähdään, että SRI-mittarin käyttökelpoisuus on korkeimmillaan suunnittelijan ja projektipäällikön työkaluna projektin toteutusvaiheessa. SRI-mittaria voi kuitenkin käyttää myös projektin kehitysvaiheessa esimerkiksi rakennuksen älykkyyden nykytilan arviointiin lähtötietoja varten. Projektin toteutuksen päättyessä SRI-mittarilla voidaan arvioida rakennuksen älykkyydennäköisyyden uudistusten jälkeen ja mahdollisesti myös arvioida älykkyydennäköisyyden tuomaa lisäarvoa.

7. JOHTOPÄÄTÖKSET

7.1 Kampuskiinteistön uudistaminen älykkääksi

Kiinteistön omistajan datastrategia on olennainen osa kiinteistöjen älykkääksi uudistamista. Kun ennen rakennushanketta tiedetään mitä kiinteistön älykkyydeltä halutaan, osataan asioita myös vaatia hankkeen aikana ja tavoite on hankkeen osapuolille selkeä. Datastrategia kannattaa tehdä yhtenäiseksi omistajan koko kiinteistöportfolioon, sillä tyyppillisesti datan hyödynnettävyys kasvaa sitä korkeammaksi mitä useammasta rakennuksesta tai kampuksesta saadaan dataa samassa muodossa. Tällöin samaa älykästä palvelua voidaan mahdollisimman pienin muutoksin monistaa käyttöön useammalle rakennukselle ja jakaa siis palveluiden kehittämisen kuluja useammalle taholle. Datastrategian laadinnassa kannattaa harkita datan julkaisemista avoimeksi, sillä näin voidaan alentaa kynnystä kolmansien osapuolien tekemille palveluille ja innostaa kampuksien käyttäjiä julkaisemaan palveluita ja sovelluksia.

Kiinteistöjen älykkääksi uudistamisessa kannattaa hyödyntää suunnitteluun apuvälineitä, kuten SRI-mittaria. Apuväline voi olla myös esimerkiksi organisaation oma älykkäiden järjestelmien toteutuksen tehtäväluettelo. Apuvälineiden avulla voidaan varmistaa, että toivotulle älykkyyden tasolle päästään hankkeessa, eikä joitain asioita unohdu toteuttaa. SRI-mittaria tai muita rakennuksen älykkyyttä mittaavia menetelmiä käyttämällä älykkyyden taso voidaan määrittää tarkasti ja sitä voidaan käyttää kiinteistön markkinoinnissa sekä vertailla eri rakennuksia. Eri mittareilla on kuitenkin omia heikkouksiinsa, jotka on hyvä tunnistaa.

Eri suunnitteluosapuolien järjestelmien yhteensopivuuden varmistamiseksi olisi korjaushankkeeseen tarpeellista valita älykoordinaattori koordinoimaan älykkään ekosysteemin suunnittelua. Älykoordinaattorin vastuulle tulisi järjestelmien yhteensopivuuden varmistamisen lisäksi kiinteistön omistajan datastrategian vaatimusten toteutumisen huomiointi suunnitteluratkaisuissa. Älykoordinaattori siis ohjaa hankkeessa älykkäiden järjestelmien suunnittelua, hankintaa ja toteutusta niin, että järjestelmät saadaan toteutettua toimivina kokonaisuuksina. Ilman älykoordinaattoria järjestelmien suunnittelu saattaa helposti jäädä siilomaiseksi, jolloin omistajan datastrategian vaatimukset eivät välttämättä toteudu ja järjestelmien päälle rakennettujen käyttäjäpalveluiden kehittäminen vaikeutuu.

Älykoordinaattorin rooli koettiin sopivan parhaiten automaattisuunnittelijalle, jolloin hankkeeseen ei välttämättä tarvitse luoda uutta osapuolta. Älykoordinaattorille ei kuitenkaan ole valmiita suunnittelun tehtäväluetteloita eikä kaikilla automaattisuunnittelijoilla

välttämättä ole roolin vaatimaa erityisosaamista. Älykoordinaattorin roolin vakiinnuttaminen suunnitteluprosesseihin voisi merkittävästi lisätä älykkäiden ratkaisuiden toteuttamista ja parantaa toteutusten laatua.

7.2 Tutkimuksen onnistumisen arviointi

Tutkimuksen päätavoitteena oli selvittää kampuskiinteistön älykkääksi uudistamisen prosessi. Tutkimuksen alatavoitteina oli selvittää älykkään rakennuksen määritelmä ja arvioida keinoja älykkyyden mittaukseen. Lisäksi alatavoitteena oli selvittää älykkäiden järjestelmien huomioimista korjaushankkeen suunnittelu- ja toteutusprosessissa.

Tutkimuksen kirjallisuusanalyysissä havaittiin älykkäälle rakennukselle löytyvän useita eri määritelmiä ja määritelmien perusteella älykäs rakennus määriteltiin tutkimuksessa rakennukseksi, jossa käyttäjille luodaan mahdollisimman viihtyisät, taloudelliset, tehokkaat ja ympäristöystävälliset tilat rakennuksen järjestelmiä, rakenteita ja palveluita optimoimalla sekä integroimalla. Määritelmässä huomioidaan älykkään rakennuksen tavoitteet taloudellisuuden, ekologisuuden sekä käyttäjien viihtyisyyden osalta. Lisäksi määritelmässä annetaan huomiota myös rakennuksen passiiviselle älykkyydelle sekä älykkäille palveluille.

Älykkyyden mittauksen osalta tutkimuksessa nousi esiin EU:n kehittämä SRI-mittari. SRI-mittari arvioitiin uutuutensa sekä potentiaalisesti laajan käyttäjäkuntansa perusteella aiheeksi, johon tutkimusta oli mielekästä suunnata. Lisäksi tutkimuksessa arvioitiin kahden ympäristösertifiointijärjestelmän soveltuvuutta rakennuksen älykkyyden mittaukseen sekä niiden eroja SRI-mittariin. SRI-mittarin soveltuvuutta rakennuksen älykkyyden mittaukseen arvioitiin suorittamalla SRI-mittaus yhdelle kampusrakennukselle. SRI-mittarissa havaittiin olevan heikkouksia, mutta se koettiin silti hyödylliseksi työkaluksi korjaushankkeen suunnitteluun.

Älykkäiden järjestelmien huomioimista korjaushankkeen suunnittelu- ja toteutusprosessissa selvitettiin järjestämällä työpaja kampuskiinteistöjen omistajan organisaatiolle sekä täydentämällä vastauksia tutkimushaastatteluilla. Tutkimuksessa tunnistettiin useita haasteita älykkäiden järjestelmien toteutuksessa sekä arvioitiin SRI-mittarin soveltuvuutta apuvälineeksi haasteiden ratkaisemisessa. Etenkin omistajan ja projektipäällikön osalta haasteita saatiin selvitettyä hyvin, mutta muiden osapuolien osalta haasteiden selvitys jäi pintapuoliseksi. Kokonaisuutena tutkimuksessa selvitettiin kampuskiinteistön älykkääksi uudistamisen prosessia alatavoitteiden kautta, mutta varsinaista älykkääksi uudistamisen prosessikuvausta tutkimuksen myötä ei syntynyt. Tutkimuksessa kuitenkin

onnistuneesti selvitettiin rakennuksen älykkyyden mittauksen keinoja sekä arvioitiin älykkäiden järjestelmien ja palveluiden toteuttamisen haasteita.

7.3 Tutkimuksen rajoitukset

Tutkimuksen tuloksien luotettavuuteen liittyy joitakin rajoitteita. Rajoitteita luotettavuuteen tuo käytetty kirjallisuusaineisto, SRI-mittarin keskeneräisyys sekä tutkimushaastatteluiden määrä. Kirjallisuusaineiston osalta relevantteja lähteitä on voinut jäädä tutkimuksen ulkopuolelle käytettyjen hakupalveluiden sisällön tai tutkijan käyttämien hakutermien vuoksi. Rakennusten älykkäiden järjestelmien teknologian nopean kehityksen vuoksi kirjallisuudesta pyrittiin kuitenkin löytämään mahdollisimman uutta aineistoa tutkimuksen taustaksi.

SRI-mittaria testattiin tutkimuksessa vain yhden uudisrakennuksen arviointiin. SRI-mittarin soveltuvuutta korjaushankkeessa olisi voinut arvioida paremmin, mikäli sillä olisi arvioitu jokin rakennus ennen korjaushanketta ja korjaushankkeen jälkeen. Tämä ei kuitenkaan ollut mahdollista tutkimuksen ajallisissa rajoitteissa. SRI-mittarin materiaaleista ei ollut vielä tehty käännöksiä suomeksi, joten materiaalit käännettiin diplomityön tekijän toimesta suomeksi SRI-mittausta varten. Tästä on saattanut aiheutua osittain virheellisiä termejä mittauksen palveluluetteloon. Lisäksi SRI-mittari oli tutkimuksen suoritushetkellä vielä keskeneräinen, jolloin tutkimuksessa havaittuja SRI-mittarin heikkouksia saatetaan vielä korjata ennen virallista julkistusta.

Älykkäiden järjestelmien toteuttamisen haasteita selvitettiin tutkimuksen aikana työpaikalla sekä kahdella tutkimushaastattelulla. Työpajan osallistujissa ja haastatelluissa henkilöissä ei ollut rakennusurakoitsijan edustajia, jolloin haasteita ei saatu selvitettyä rakentajan näkökulmasta. Rakennusurakoitsijan näkökulmasta älykkäiden järjestelmien toteutukseen olisi saattanut liittyä erilaisia haasteita.

7.4 Jatkotutkimuksien tarpeet

Tutkimuksen perusteella SRI-mittarin arvioitiin sopivan suunnittelun apuvälineeksi kampusrakennuksen korjaushankkeessa. SRI-mittarista olisi kuitenkin hyvä tehdä jatkotutkimusta viimeistään mittarin virallisen julkistuksen jälkeen. Jatkotutkimuksissa voitaisiin kartoittaa SRI-mittarin soveltuvuutta rakennuksen älykkyyden mittaukseen sekä arvioida SRI-mittarin tuloksien vaikutusta esimerkiksi kiinteistön energiankulutukseen tai käyttäjien viihtyisyyteen. Lisäksi SRI-mittari voitaisiin ottaa käyttöön työkaluksi yksittäiseen korjaushankkeeseen ja kerätä korjaushankkeen aikana eri osapuolien kokemuksia ja mielipiteitä sen hyödyllisyydestä.

Eri järjestelmien yhteensopivuuden varmistamiseksi tutkimuksessa nousi esiin älykoordinaattorin käyttö rakennushankkeessa. Älykoordinaattorin roolia olisikin hyvä tutkia vielä lisää ja kenties kokeilla roolin käyttöä osana rakennushanketta. Älykoordinaattorin lisäksi jatkotutkimusta voisi tehdä myös rakennuksen älykkäiden käyttäjäpalveluiden kehittämisestä. Älykkäiden käyttäjäpalveluiden osalta hyödyllisiä jatkotutkimuksen aiheita voisivat olla esimerkiksi kiinteistöjen omistajan datastrategian kehittäminen sekä kiinteistöistä kertyvän datan kaupallistamisen mallit.

LÄHTEET

- Aaltola, J. & Valli, R. (2010). Ikkunoita tutkimusmetodeihin: 1, Metodien valinta ja aineistonkeruu: virikkeitä aloittelevalle tutkijalle, 3. uudistettu painos. ed. PS-kustannus, Jyväskylä.
- Ahn, S., Lee, S. & Bahn, H. (2017). A smart elevator scheduler that considers dynamic changes of energy cost and user traffic, *Integrated Computer-Aided Engineering*, Vol. 24(2), pp. 187-202.
- Batov, E. I. (2015). The distinctive features of "Smart" buildings, *Procedia Engineering*, 111, pp. 103-107.
- Bloomberg. (2015). The Smartest Building in the World Saatavissa: <https://www.bloomberg.com/features/2015-the-edge-the-worlds-greenest-building/> (Viitattu 13.8.2019).
- Buckman A.H., Mayfield M., Beck Stephen B.M. (2014). What is a Smart Building?, *Smart and Sustainable Built Environment*, Vol. 3 Issue: 2, pp.92-109.
- BRE Global. (2016). BREEAM In-Use International 2016 – Technical Manual. SD221, Version 2.
- BRE Global. (2017). BREEAM International New Construction 2016 - Technical Manual. SD233, Issue 2.0.
- Bröring A., Schmid S., Schindhelm C.-K., Khelil A., Kabisch S., Kramer D., Phuoc D. et al. (2017). Enabling IoT Ecosystems Through Platform Interoperability, *IEEE Software*, Vol. 34, no. 1, pp. 54–61.
- Čolaković, A., & Hadžialić, M. (2018). Internet of things (IoT): A review of enabling technologies, challenges, and open research issues, *Computer Networks*, pp. 17-39.
- David Arditi, Giulio Mangano, Alberto De Marco, (2015). Assessing the smartness of buildings, *Facilities*, Vol. 33 Issue: 9/10, pp.553-572.
- Dey, M., Rana, S. P., & Dudley, S. (2018). Smart building creation in large scale HVAC environments through automated fault detection and diagnosis.
- Eriksson, R., Nenonen, S., Nielsen, S. B., Junghans, A., & Lindahl, G. (2014). Sustainable Retrofitting of Nordic University Campuses. In *Proceedings of the 13th EuroFM Research Symposium*.
- Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (EU) 2018/844. (2018). Saatavissa: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L0844&from=FI> (Viitattu 24.4.2019).
- European Commission. (2018). Buildings - European Commission. Saatavissa: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/energy-performance-of-buildings> (Viitattu 24.4.2019).
- Euroopan parlamentti. (2019). Faktatietoja Euroopan unionista – Energiatohokkuus. Saatavissa: <http://www.europarl.europa.eu/factsheets/fi/sheet/69/energiatohokkuus> (Viitattu 24.4.2019).
- Fleckenstein, M. & Fellows, L. (2018). *Modern Data Strategy*, Springer, Cham.
- Galego D., Giovannella C., Mealha Ó. (2016). Determination of the Smartness of a University Campus: the case study of Aveiro.
- Gil-Garcia, J.R., Pardo, T.A. & Nam, T. (2015). What makes a city smart? Identifying core components and proposing an integrative and comprehensive conceptualization, *Information Polity*, Vol. 20(1), pp. 61-87.

- Hanssen T.-E. S. & Solvoll G. (2015). The importance of university facilities for student satisfaction at a Norwegian university.
- Hirsijärvi, S., Remes, P. ja Sajavaara, P. (2007). Tutki ja kirjoita, 13. osin uud. laitos. ed. Tammi, Helsinki.
- Janhunen, E., Pulkka, L., Säynäjoki, A., & Junnila, S. (2019). Applicability of the smart readiness indicator for cold climate countries. *Buildings*, 9(4), [102].
- Kärnä S., Julin P., Nenonen S. (2013). User satisfaction on a university campus by students and staff, *Intelligent Buildings International*, Vol. 5, No. 2, 69–82.
- Markoska E., Lazarova-Molnar S., Jakica N. & Kragh M. K. (2019). Assessment of Building Intelligence Requirements for Real Time Performance Testing in Smart Buildings.
- Mehta, R., Sahni, J., & Khanna, K. (2018). Internet of things: Vision, applications and challenges, *Procedia Computer Science*, pp. 1263-1269.
- Metsämuuronen, J. (2001). Laadullisen tutkimuksen perusteet. Jyväskylä: International Methelp.
- Mills, G. R. W., Deka, L., Price, A. D. F., Rich-Mahadkar, S., Pantzartzis, E., & Sellars, P. (2015). Critical infrastructure risk in NHS England: predicting the impact of building portfolio age. *International Journal of Strategic Property Management*, 19(2), 159-172.
- Misra, D., Das, G., Chakraborty, T. & Das, D. (2018). An IoT-based waste management system monitored by cloud, *Journal of Material Cycles and Waste Management*, Vol. 20(3), pp. 1574-1582.
- Muhamad, W., Kurniawan, N.B. Suhardi & Yazid, S. (2017). Smart campus features, technologies, and applications: A systematic literature review, 2017 International Conference on Information Technology Systems and Innovation (ICITSI), IEEE, pp. 384-391.
- Nguyen, T.A. and Aiello, M. (2013). Energy intelligent buildings based on user activity: a survey, *Energy and Buildings*, Vol. 56 No. 9, pp. 244-257.
- Ochoa, C.E. & Capeluto, I.G. (2008). Strategic decision-making for intelligent buildings: Comparative impact of passive design strategies and active features in a hot climate, *Building and Environment*, Vol. 43, pp. 1829-1839.
- Opetus- ja kulttuuriministeriö. (2019). Korkeakouluille uusi rahoitusmalli. Saatavissa: https://mi-nedu.fi/artikkeli/-/asset_publisher/korkeakouluille-uusi-rahoitusmalli (Viitattu 8.4.2019).
- Pagliaro, F., Mattoni, B., Gugliermenti, F., Bisegna, F., Azzaro, B., Tomei, F. & Catucci, S. (2016). A roadmap toward the development of Sapienza Smart Campus, 2016 IEEE 16th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC), IEEE, pp. 1-6.
- Pal, A. & Purushothaman, B. (2016). IoT: technical challenges and solutions, Artech House, Boston.
- Platform of Trust. (2019). Frequently Asked Questions. Saatavissa: <https://www.platformoft-rust.net/faq> (Viitattu 21.8.2019).
- RIL 216-2013 (2013). Rakenteiden ja rakennusten elinkaaren hallinta. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.
- RIL 267-2015 (2015). Käyttäjälähtöinen älyrakennus – suunnittelu, rakentaminen, käyttö ja ylläpito. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

RT 10-11233. (2016). Talonrakennushankkeen kulku - toteutusmuodot, Rakennustietosäätiö RTS, 9 s.

Son, H., & Kim, C. (2015). Early prediction of the performance of green building projects using pre-project planning variables: Data mining approaches. *Journal of Cleaner Production*, pp. 144-151.

Suomen Yliopistokiinteistöt Oy. (2015). Ruusupuisto BREEAM tapaustutkimusraportti. Saatavissa: <https://sykoy.fi/wp-content/uploads/Ruusupuisto-Jyu-Man-9-Case-Study-Report.pdf> (Vii-tattu 18.7.2019).

Sutjarittham T., Gharakheili H., Kanhere S. & Sivaraman V. (2018). Experiences with IoT and AI in a Smart Campus for Optimizing Classroom Usage.

Säynäjoki, A., Pulkka, L., Säynäjoki, E. S., & Junnila, S. (2017). Data commercialisation: Extracting value from smart buildings. *Buildings*, 7(4), [104].

Tuomaala, P., Piira, K., & Holopainen, R. (2018). Lämpöolosuhteiden älykäs säätökonsepti. In J. Säteri, & M. Ahola (Eds.), *Sisäilmastoseminaari 2018: 15.3.2018* (pp. 115-120). (SIY Raportti; No. 36).

U.S. Green Building Council. (2019a). LEED v4.1 Building Design and Construction – getting started guide for beta participants.

U.S. Green Building Council. (2019b). LEED v4.1 Operations and Maintenance – getting started guide for beta participants.

Valks, B., Arkesteijn, M., & den Heijer, A. (2018). Smart campus tools 2.0: An international comparison. Delft University of Technology.

Vannieuwenborg, F., Verbrugge, S. & Colle, D. (2018). Choosing IoT-connectivity? A guiding methodology based on functional characteristics and economic considerations, *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, Vol. 29(5), pp. e330-n/a.

Vasileva R., Rodrigues L., Hughes N., Greenhalgh C., Goulden M., Tennison J. (2018). What Smart Campuses Can Teach Us about Smart Cities: User Experiences and Open Data.

Verbeke S., Waide P., Bettgenhäuser K., Uslar M.; Bogaert S. et al. (2018). Support for setting up a Smart Readiness Indicator for buildings and related impact assessment - final report. Brussels.

Verbeke S., Aerts D., Rynders G., Ma Y., Waide P. (2019). Interim report July 2019 of the 2nd technical support study on the Smart Readiness Indicator for buildings. Brussels.

Wagner, A., Lutzkendorf, T., Voss, K., Spars, G., Maas, A. & Herkel, S. (2014). Performance analysis of commercial buildings -results and experiences from the German demonstration program Energy Optimized Building (EnOB), *Energy and Buildings*, Vol. 68 No. 2, pp.634-638.

Wong J. K. W, Li H., Wang S. W. 2005. Intelligent building research: a review.

Yu, A. T. W., Shen, Q., Kelly, J., & Hunter, K. (2007). An empirical study of the variables affecting construction project briefing/architectural programming. *International Journal of Project Management*, pp. 198-212.